ENTRENADOR DE PLANTA DE CONTROL "EPC"

MANUAL DE USUARIO

Planta Electrónica Para Entrenamiento De Sistemas de Instrumentación y Control

High Lights
Distribuidor de National Instruments para Ecuador

Av. Paucarbamba 1-160 y Manuel J. Calle
Tel. (+593) 7 288 2288
Fax. (+593) 7 281 7800
www.highlights.com.ec
info@highlights.com.ec
Cuenca - Ecuador

Convenciones

Este manual utiliza las siguientes convenciones:

»	Identifica navegación por menús de programas. Por ejemplo, la secuencia **File»Page Setup»Options** le dirige a usted al menú File, luego al ítem Page Setup, luego al ítem Options.
	Este icono denota atención especial, indicando que se debe tener precaución en seguir las indicaciones o sugerencias para evitar daños personales y/o al equipo.
`monospace`	Texto escrito en este formato indica caracteres que deben ser ingresados en un programa. También denota una dirección en el disco duro, nombre de un archivo o programa, o nombre de un SubVI. Finalmente, indica comandos o valores de controles (por ejemplo, una línea digital puede estar en estado TRUE o FALSE, o un control numérico puede estar en el valor de `30.5`).
cursiva	Texto escrito en este formato indica énfasis en las instrucciones
Negrita	Texto escrito en este formato indica nombres de conectores en el EPC o en la tarjeta DAQ, o nombres de controles o indicadores en un programa.

Contenido

Capítulo I: Introducción 5

Qué Se Necesita Para Empezar 6

Diagrama Esquemático Y Conexiones Básicas 6

Capítulo II: Medición y Control de Temperatura 9

Práctica T1: Medición de Temperatura 10

Práctica T2: Filtrado de Señal de Temperatura 12

Práctica T3: Control de Temperatura Manual 14

Práctica T4: Control de Temperatura On/Off 18

Práctica T5: Control de Temperatura PID (mediante PWM) 20

Capítulo III: Medición y Control de Velocidad 25

Práctica M1: Control Manual de Velocidad de Motor DC 26

Práctica M2: Señal de Encoder – Forma Analógica 28

Práctica M3: Señal de Encoder – Forma de Contador Digital 31

Práctica M4: Caracterización de Motor DC 33

Práctica M5: Control PID de Velocidad de Motor DC 36

Capítulo IV: Control de Posición 44

Práctica S1: Secuencia de Encendido Manual 45

Práctica S2: Control de Posición 47

Capítulo V: Análisis de Sonido 50

Práctica DSA1: Medición de Armónicos 51

Práctica DSA2: Detección DTMF 56

Capítulo VI: Relé de Propósito General 59

Práctica R1: Test de Conmutación 60

Especificaciones Generales 62

Especificaciones Mínimas Del Sistema DAQ 63

Capítulo I: Introducción

El Entrenador de Planta de Control **"EPC"** es una placa electrónica que incluye varios sensores y actuadores típicos en los sistemas de instrumentación y control tales como temperatura, velocidad, posición, señales analógicas de corriente continua, alterna, digital, y tren de pulsos.

Este manual explica la forma básica de utilización del EPC, pero no pretende ser un texto de teoría de control, instrumentación, o programación de LabVIEW.

El EPC está diseñado para conectar a un computador mediante una tarjeta de adquisición de datos DAQ de National Instruments (no incluida). El EPC incluye varios programas escritos en la plataforma de desarrollo gráfico LabVIEW de National Instruments para analizar y controlar los experimentos.

El objetivo de este equipo es facilitar el aprendizaje de conceptos de teoría de control e instrumentación al poner a disposición del usuario varios experimentos prácticos listos para usar. De esta forma se minimiza el tiempo de diseño y construcción electrónico, se asegura la compatibilidad de los sensores con los experimentos, y se obtiene una experiencia de primera mano con las características y problemas de los sistemas físicos reales tales como ruido, precisión, acoplamiento AC/DC, etc. en lugar de usar simulaciones por computadora. Además, habilita la metodología de Aprendizaje Activo (aprender por medio del desarrollo de proyectos prácticos) que aporta significativamente al aprendizaje que usando exclusivamente medios teóricos tales como libros de texto, dictados, y resolución de ejercicios.

Finalmente, el EPC es una herramienta diseñada para maximizar el aprendizaje de LabVIEW y adquisición de datos al proporcionar plantas físicas reales que funcionan con señales típicas.

Los experimentos que contiene el EPC son los siguientes:

- Control de Temperatura
- Control de Velocidad de Motor DC
- Control de Posición de Motor Stepper
- Análisis de Sonido (adquisición y análisis de señales AC en dominio del tiempo y de la frecuencia)
- Relé de Propósito General

Cada uno de estas prácticas incluye una breve descripción del hardware y uno o más programas de aplicación desarrollados en LabVIEW, ordenados por capítulos en el software que acompaña este manual. Estos programas se presentan con el código abierto de forma que puedan ser utilizados como base para programas más complicados, o como casos de estudio.

Generalmente, cada práctica se basa en las prácticas anteriores de ese capítulo. Se pueden utilizar los programas provistos con el ECP, pero se recomienda desarrollar los programas desde cero para maximizar el aprendizaje y ampliar las experiencias, conceptos e ideas de nuevas prácticas.

Qué Se Necesita Para Empezar

Para desarrollar las prácticas se necesita:

- Requerimientos de Hardware
  - Entrenador de Planta de Control EPC
  - Fuente de poder AC/DC de 12V, 1200Ma
  - Cable de conexión para bombillo halógeno de 110/220 VAC 50/60Hz.
  - Tarjeta de adquisición de datos genérica de National Instruments (ejemplo DAQ USB-6009) con las siguientes características mínimas:
    - 4 salidas digitales tipo TTL
    - 1 entrada analógica de 14 bits, +/-10V, 40KS/s, soporte de adquisición de formas de onda de corriente alterna (N Samples) y de corriente continua.
    - 1 salida analógica de 12 bits, 100 S/s, 0-5V.
    - 1 entrada de contadores de 5MHz
    - En el capítulo Especificaciones se presentan las especificaciones completas sugeridas.
  - Destornillador pequeño
  - Computador con Windows XP/Vista

- Requerimientos de Software
  - LabVIEW 8.6 o superior
  - Toolkit de control PID
  - *Recomendado*: Toolkit de diseño e identificación de sistemas de control.

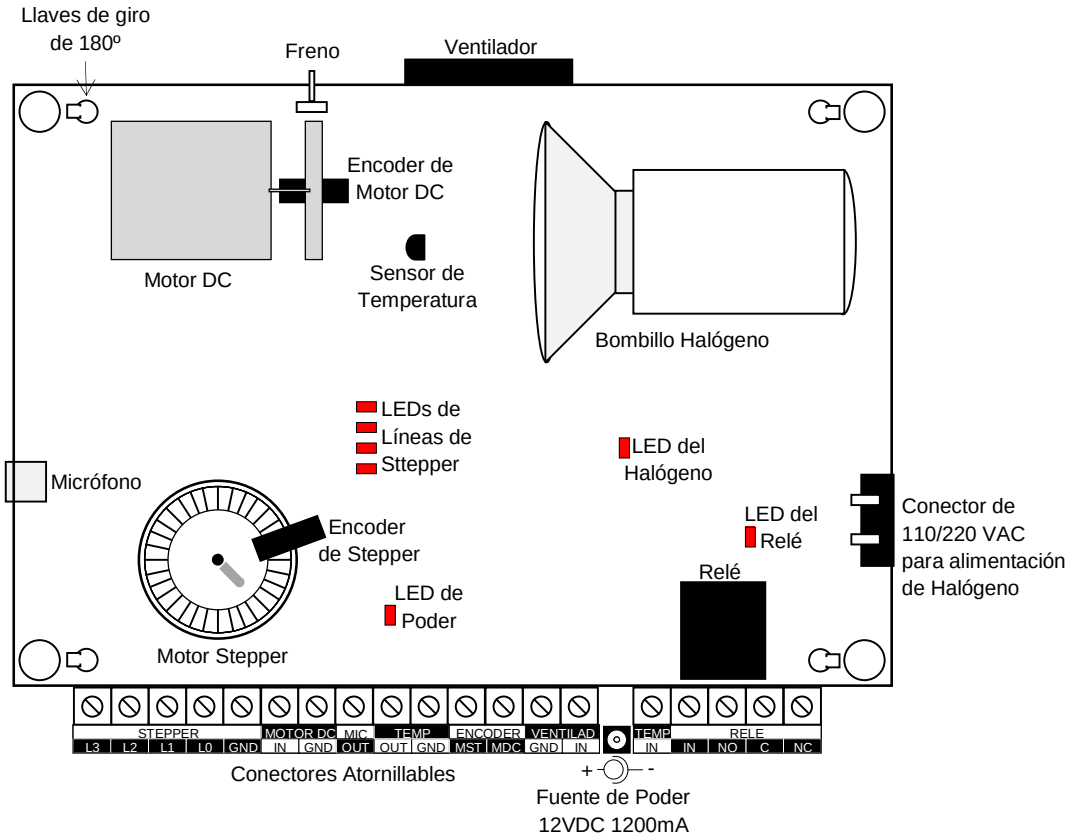
- Prerrequisitos
  - Conocimientos de programación en LabVIEW fundamental (consulte con National Instruments para conocer sobre las opciones de capacitación)
  - Conocimientos básicos de sistemas de adquisición de datos y sensores
  - Para las prácticas de control, conocimientos básicos de teoría de control moderno

Diagrama Esquemático Y Conexiones Básicas

NOTA IMPORTANTE: *Antes de conectar una fuente de poder al equipo lea completamente esta sección del manual, pues dependiendo del equipo de control que esté usando, puede encenderse en*

condiciones que conduzcan a calentamiento y posibles daños a los circuitos, e incluso leves quemaduras en la piel.

A continuación se presenta un diagrama esquemático ubicando las partes principales del equipo.



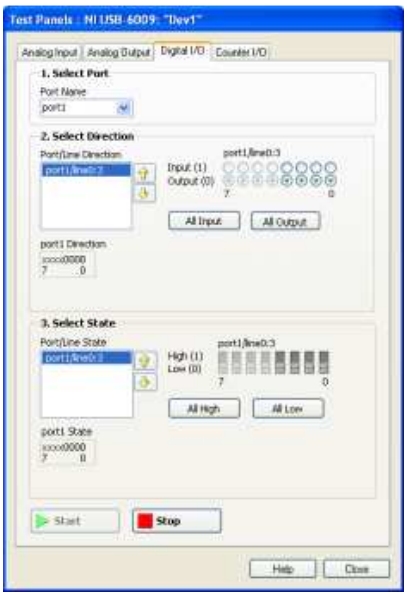
- El LED de poder se enciende cuando se conecta la Fuente de Poder de 12VDC. La polarización está indicada en el diagrama esquemático (pin interno positivo, carcasa negativo).

- El Halógeno funciona con lógica inversa; es decir, cuando se envía un FALSE a la línea de control del Halógeno **TEMP IN**, se enciende el LED de Halógeno. Si el cable de alimentación del Halógeno está conectado al Conector de 110/220 VAC, el Halógeno se encenderá.

  NOTA IMPORTANTE: *Cuando se enciende el Halógeno durante pocos minutos, éste se calentará considerablemente, pudiendo causar leves quemaduras en la piel y daños en el equipo. Para evitarlo, desconecte el cable de poder de 110/220 VAC para quitar la alimentación al Halógeno. También puede activar la línea de control del Halógeno desde un programa de LabVIEW o desde el utilitario de la tarjeta DAQ Measurement And Automation Explorer.*

- El Relé funciona con lógica inversa; es decir, cuando se envía un FALSE a la línea del Relé, éste conmutará el terminal común **C** con el terminal normalmente abierto **NO** (por sus siglas en inglés, Normally Open).

- Las bobinas del Motor Stepper (Motor Paso a Paso) **L0**, **L1**, **L2**, **L3** tienen lógica directa; es decir, cuando se envía una señal TRUE a una línea del Stepper, la bobina correspondiente se activa.
  Si al conectar la tarjeta DAQ se enciende uno o más de los LEDs de Líneas del Stepper, desconecte inmediatamente la Fuente de Poder de 12VDC, envíe un FALSE a todas las líneas digitales de la tarjeta DAQ desde el utilitario de la tarjeta DAQ Measurement and Automation Explorer, tal como muestra la figura (en este caso se asume que se han conectado las cuatro líneas del puerto **P1** de la tarjeta DAQ a las líneas del Stepper).



NOTA IMPORTANTE: *Cuando se activan las bobinas del Stepper, los LEDs de Líneas de Stepper se encienden. Si uno o más de estos LEDs se encienden al conectar la tarjeta DAQ, las bobinas estarán energizadas y el Stepper se calentará considerablemente si no se desactivan dentro de pocos minutos, provocando daños al equipo e incluso podría provocar leves quemaduras en la piel.*

- El ventilador funciona con lógica inversa; es decir, cuando se envía una señal FALSE el ventilador se enciende.

- En caso de que se requiera abrir la tapa de acrílico transparente que protege el EPC, se deben girar las cuatro Llaves de Giro a la posición de apertura; es decir, 180 grados en sentido contrario al giro de las manecillas del reloj. Estas llaves no son tipo tornillo, por lo tanto, es necesario no forzar el giro de las mismas.

Capítulo II: Medición y Control de Temperatura

El EPC incluye un bombillo halógeno que produce calor cuando se enciende. Este elemento simula un dispositivo de calentamiento tipo On/Off como puede ser una niquelina, o una válvula todo-nada.

Un sensor de temperatura convierte la señal de calor en una señal de voltaje según la siguiente ecuación.

$$℃ = V * 100$$

Donde: ℃ es la temperatura en grados celcius

V es el voltaje que entrega el sensor de temperatura

100 es una constante numérica

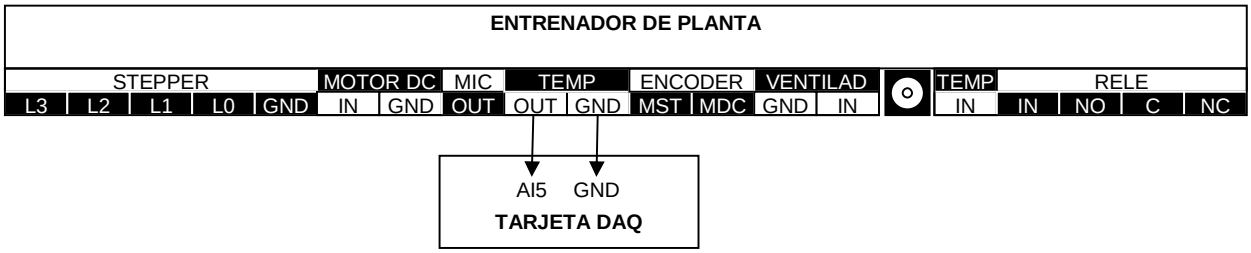
Un ventilador instalado frente al halógeno permite sacar el aire caliente del EPC, introduciendo también una perturbación en el sistema térmico.

Estas prácticas deben ser realizadas estrictamente según las instrucciones, pues de lo contrario ***las temperaturas generadas podrían dañar el equipo, e incluso provocar quemaduras en la piel*** *si entra en contacto directo con el bombillo Halógeno. Por lo tanto se debe utilizar la tapa protectora de acrílico transparente debidamente asegurada y cuidar de no sobrepasar los 70 grados celcius de temperatura durante más de 2 minutos.*

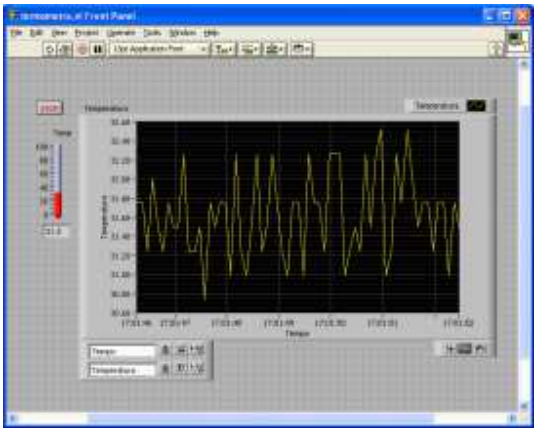
Práctica T1: Medición de Temperatura

En esta práctica se medirá la temperatura interna del EPC mediante el sensor de temperatura integrado.

1. Realizar las siguientes conexiones entre el EPC y la tarjeta DAQ:
   a. Conectar la salida del sensor de temperatura del EPC **TEMP OUT** a la entrada analógica de la tarjeta DAQ En este manual se asume que se está utilizando el canal de entrada analógica número 5 en configuración RSE, con un rango de 0-5 V para medir la señal del sensor, de modo que el conector de la tarjeta DAQ será el **AI5**.
      Se puede utilizar cualquier otro canal, ya sea en configuración RSE o Diferencial.
      En caso de tener dudas sobre sistemas de adquisición de datos consulte a National Instruments a cerca de las opciones de capacitación.
   b. Conecte la salida de referencia **GND** del EPC al GND de la tarjeta DAQ. Todos los terminales **GND** del EPC son comunes, al igual que todos los terminales **GND** de la tarjeta DAQ USB-6009.
   c. Conectar la fuente de poder al EPC.

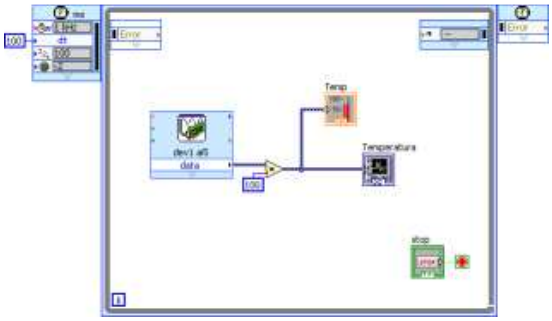


2. Abrir el programa `termómetro.vi`. Este programa muestra la temperatura medida tanto en un indicador tipo termómetro con display digital, como en un gráfico tipo Chart.

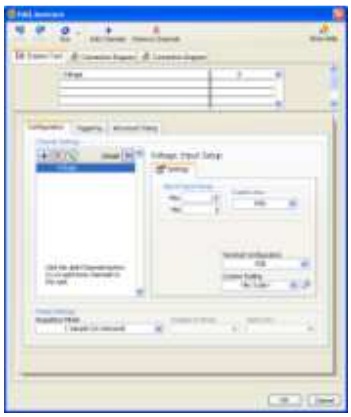


3. Abrir el diagrama de bloques. Se ha utilizado un Timed Loop con un período de 100ms en lugar de un While Loop para mejorar la temporización cuando se ejecuten programas de control.

Tomando en cuenta las especificaciones del sensor, se multiplica el voltaje que entrega el sensor por una constante de 100 y se obtiene la temperatura en grados celcius.



4. Abrir el vi expreso DAQ Assistant llamado `dev1ai5` para desplegar su configuración.

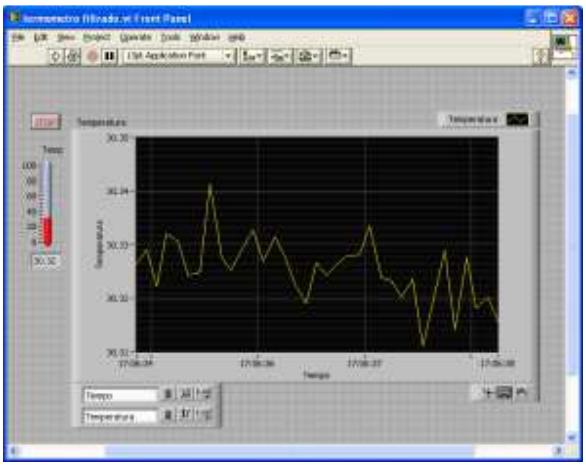


5. Nótese la configuración del canal.
    a. En tarjetas más precisas se puede cambiar el rango de 0 a 1 voltios, que transformado a temperatura sería entre 0 y 100 grados celcius. Esto permitirá aprovechar el rango para mayor precisión de la medición
    b. La configuración del canal es RSE. Se podría utilizar configuración Diferencial, en cuyo caso habría que conectar correctamente la señal.
    c. El modo de adquisición es 1 muestra cada vez que corre el programa (1 Sample On Demand).
    d. Si se desea cambiar el canal se puede presionar la flecha de configuración
6. Cerrar el configurador presionando el botón de **OK**.
7. Correr el programa. Confirmar que la temperatura medida esté acorde con la temperatura ambiente dentro del EPC.
8. Notar que la señal de temperatura tiene una cantidad de ruido considerable, en este caso de más de un 1° celcius.
9. Parar el programa utilizando el botón de **STOP**.
10. Cerrar el programa sin hacer cambios.

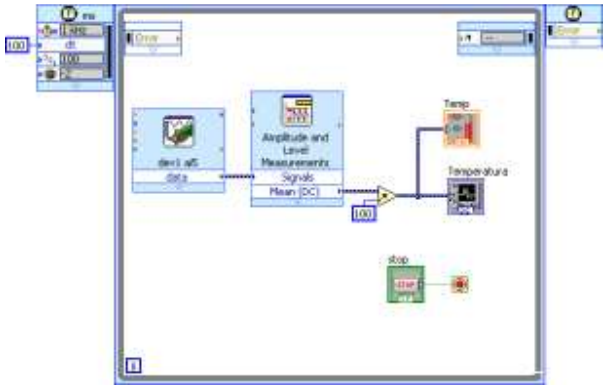
Práctica T2: Filtrado de Señal de Temperatura

En esta práctica se corregirá el problema del ruido de lectura de temperatura de la práctica anterior utilizando la técnica de promediación. Se tomarán 1000 muestras a una velocidad de 40,000 muestras por segundo y se promediarán para obtener una medición más precisa y libre de ruido.

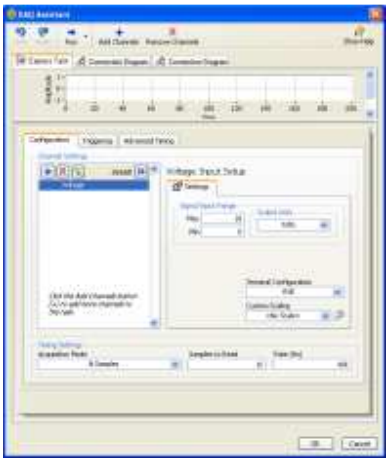
1. Mantener las conexiones realizadas en el punto 1 de la práctica anterior.
2. Abrir el programa `termómetro filtrado.vi`. El panel frontal es similar al programa de la práctica anterior.



3. Abrir el diagrama de bloques. Este programa es similar al anterior, con la diferencia de que en la adquisición de datos se toman varias muestras de voltaje y luego se promedian. Esta sencilla técnica reduce el ruido en gran medida.



4. Abrir el vi expreso DAQ Assistant llamado `dev1ai5` para desplegar su configuración

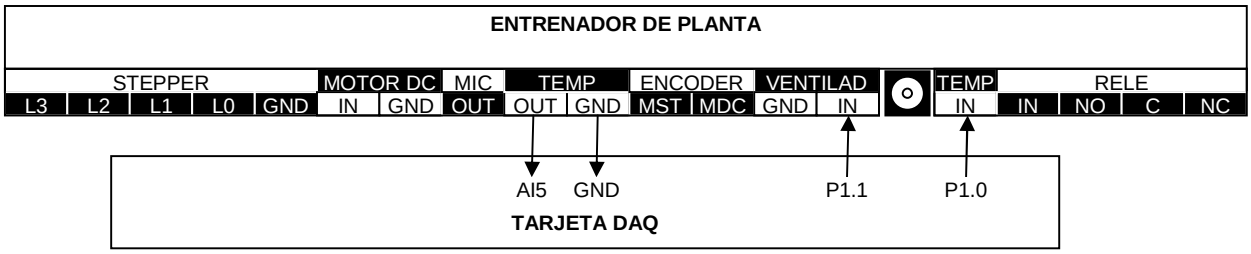


5. Nótese la configuración del canal. Es similar a la práctica anterior, con la diferencia de que el modo de adquisición es de múltiples muestras (N Samples), adquiriendo 1,000 muestras (Samples to Read: 1k) a una velocidad de 40,000 muestras por segundo (Rate: 40k). Así, esta herramienta entrega un arreglo de 1,000 muestras.
6. Cerrar el configurador presionando el botón de **OK**.
7. Correr el programa. Confirmar que la temperatura medida esté acorde con la temperatura ambiente dentro del EPC.
8. Notar que la señal de temperatura, aunque aún tiene ruido, éste está en el orden de los 0.02° grados celcius; es decir, mucho menor que en la práctica anterior.
9. Parar el programa utilizando el botón de **STOP**.
10. Cerrar el programa sin hacer cambios.

Práctica T3: Control de Temperatura Manual

En esta práctica se controlará el encendido del bombillo halógeno manualmente desde el computador. También se controlará el encendido del ventilador, cuya función es sacar el aire caliente del EPC reduciendo la temperatura y creando una perturbación en el sistema. Para medir la temperatura se utiliza como base el programa usado en la práctica anterior.

1. Conectar el EPC a la tarjeta DAQ de la siguiente manera:
    a. Confirmar que no esté conectada la fuente de poder del EPC ni el cable de alimentación del Halógeno.
    b. Conectar una salida digital tipo TTL de la tarjeta DAQ (por ejemplo, **P1.0**) a la entrada de control del bombillo Halógeno en el EPC llamada **TEMP IN**.
    c. Conectar una segunda salida digital tipo TTL de la tarjeta DAQ (por ejemplo, **P1.1**) a la entrada de control del ventilador **VENTILADOR IN**.
    d. Conectar la salida del sensor de temperatura **TEMP OUT** a una entrada analógica de la tarjeta DAQ (por ejemplo, **AI5**).
    e. Conectar una referencia **GND** del EPC a una referencia **GND** de la tarjeta DAQ. Todos los terminales **GND** del EPC son comunes, al igual que todos los terminales **GND** de una tarjeta DAQ USB-6009.



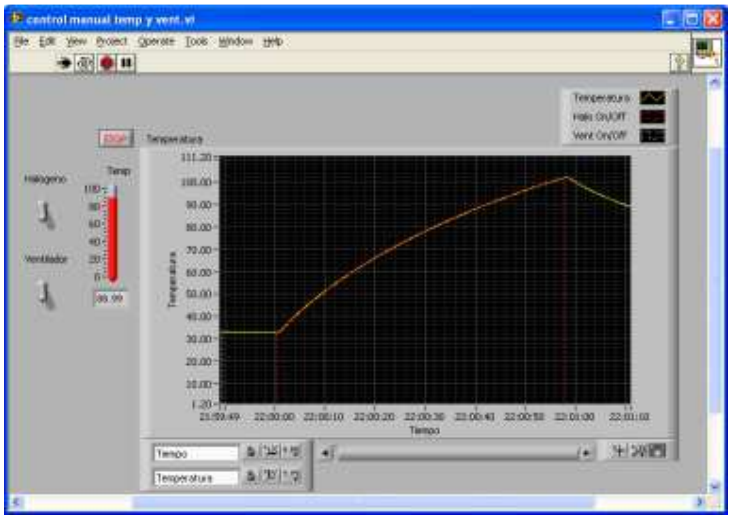
    f. Conectar la fuente de poder del EPC y el cable de alimentación del bombillo halógeno a la toma de poder.

    Si el bombillo se enciende inmediatamente, desconecte solamente el cable de alimentación del bombillo halógeno de 110/220 VAC para evitar que se caliente. Posteriormente el Halógeno se apagará manualmente desde el computador. Observando el ***Led del Halógeno*** *en la tarjeta electrónica del EPC se puede detectar si la línea está activada o desactivada. Recordar que el Halógeno funciona con lógica inversa.*

2. Abrir el programa `control manual temp y vent.vi`.

    En el panel frontal se dispone de un indicador de temperatura tipo Termómetro como en las prácticas anteriores. Igualmente, un gráfico tipo Chart despliega la temperatura, pero adicionalmente muestra también el encendido y apagado del Halógeno y del Ventilador.

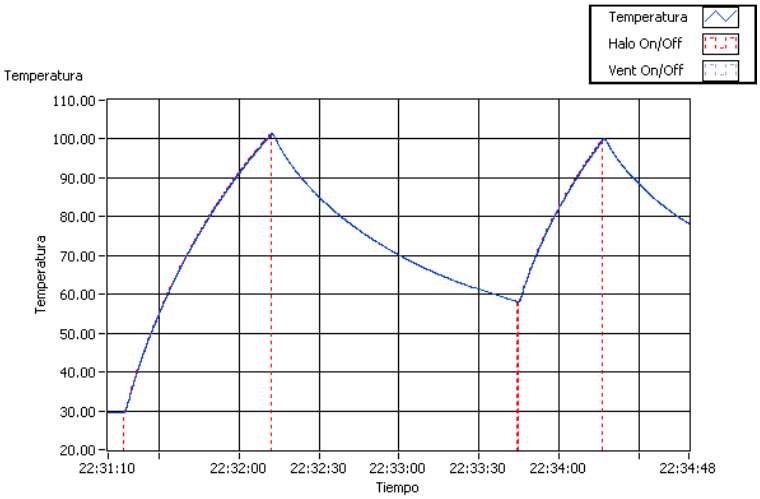
Adicionalmente, el panel frontal dispone de dos controles tipo Switch, uno para comandar el Halógeno, y otro para comandar el ventilador.



3. Correr el programa. Operar sobre los controles del Halógeno y del Ventilador para observar el comportamiento de la temperatura dentro del EPC.

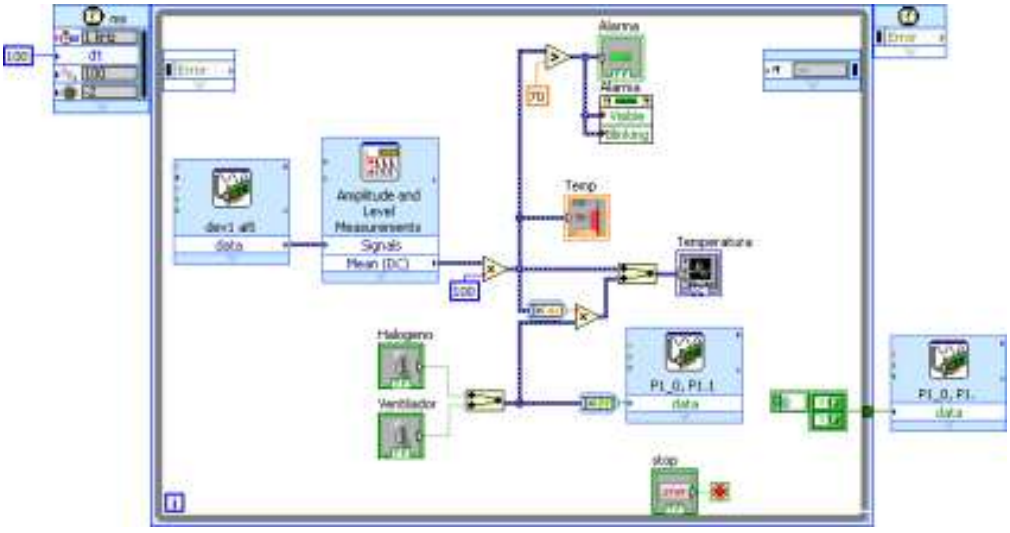
   Nota Importante: *La temperatura se eleva rápidamente; puede llegar de 30° a 100° celcius en aproximadamente un minuto. Para evitar daños tanto en personas como en el equipo se recomienda* ***no mantener la temperatura por encima de 70° celcius por más de dos minutos****. Recordar que para estas prácticas es necesario mantener la tapa colocada y asegurada debidamente, y por ninguna razón entrar en contacto directo con el bombillo Halógeno.*

4. El programa incluye una alarma que se despliega en caso de sobrepasar los 70° celcius, pero no provee de control automático para bajarla. Es necesario apagar manualmente el Halógeno para bajar la temperatura.
5. Con este programa se puede observar la curva característica tipo exponencial de la respuesta al escalón unitario de un sistema de primer orden, como lo es este sistema térmico. La respuesta no es exactamente exponencial debido a que el bombillo Halógeno no es un calefactor perfecto.

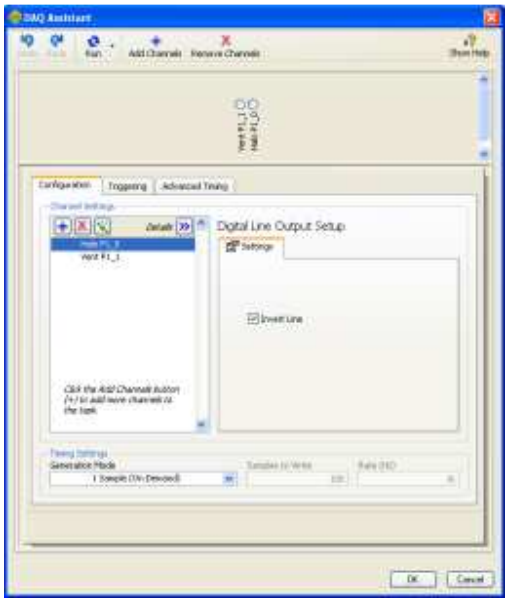


6. Parar el programa presionando el botón de **STOP**. Esto asegura que al terminar el programa tanto el Halógeno como el Ventilador se apaguen. Por lo general, los programas de LabVIEW ***no deben*** pararse con el botón de abortar disponible en la barra de herramientas.

7. Abrir el diagrama de bloques para revisar el código del programa.



   a. El DAQ Assistant de salidas digitales escribe a las líneas desde las cuales se controla el Halógeno y el Ventilador. Debido a que estos dispositivos operan con lógica inversa, la inversión de la línea se hace dentro del DAQ Assistant.



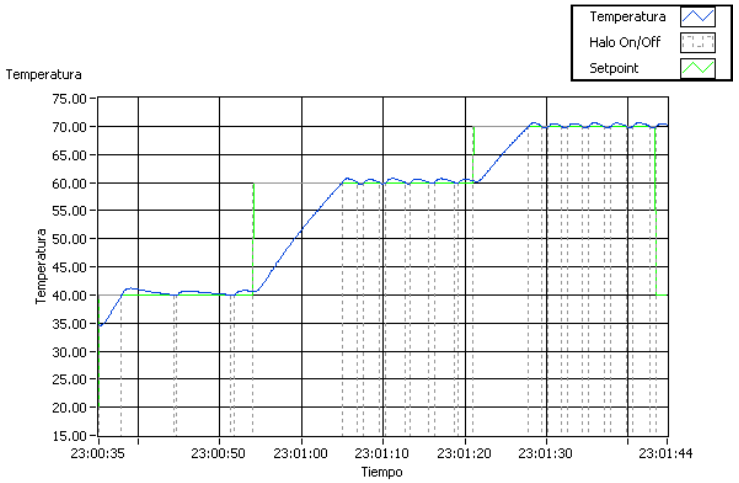
b. El nodo de propiedad hace que la alarma se despliegue y parpadee solamente cuando la temperatura sea mayor a 70°C.
c. El estado del control del Halógeno y del Ventilador se multiplican por la temperatura y se envían a graficar en la Chart para poder apreciar el tiempo en que estas líneas se activan y desactivan.

8. Cerrar el programa sin hacer cambios, asegurándose que tanto el Halógeno como el Ventilador queden apagados.

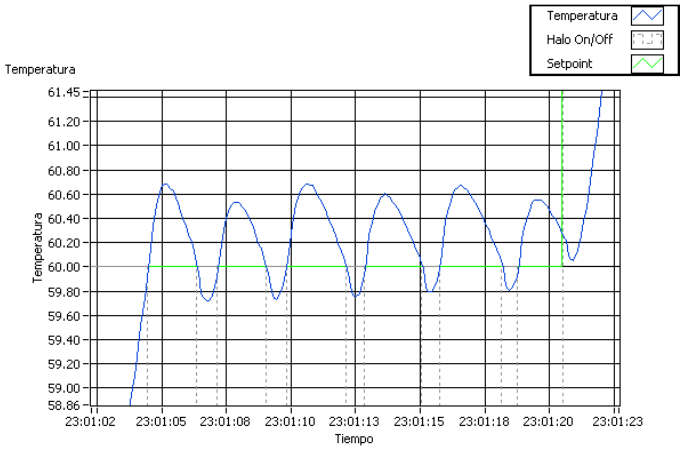
Práctica T4: Control de Temperatura On/Off

En esta práctica se realizará un control de temperatura tipo On/Off (Encendido/Apagado) utilizando el bombillo Halógeno como actuador, y el sensor de temperatura para medir la variable controlada.

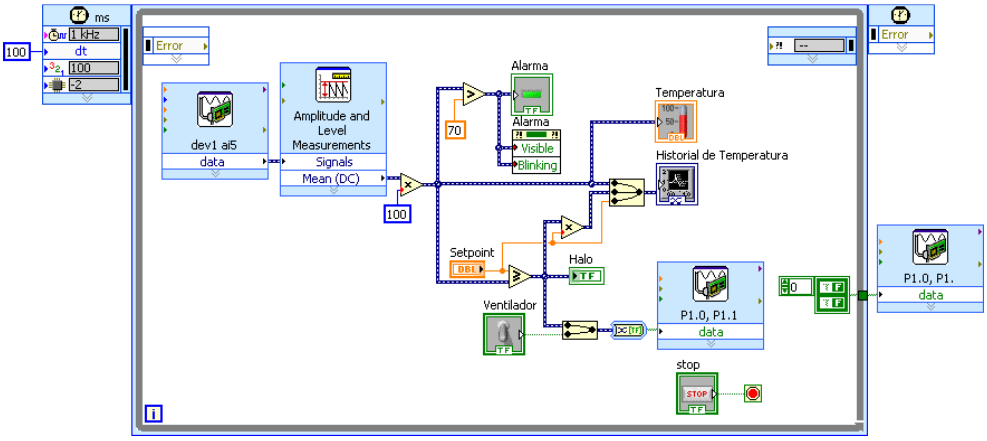
1. Las conexiones son las mismas que en la práctica T3.
2. Abrir y correr el programa `control temp on-off.vi`.
    a. El panel frontal muestra la temperatura del EPC en un indicador tipo **Termómetro**.
    b. El operador debe seleccionar la temperatura deseada en el control **Setpoint**.
    c. Si la temperatura del EPC está por debajo del **Setpoint**, el Halógeno se enciende automáticamente. Cuando la tempertura supera el **Setpoint** el Halógeno se apaga automáticamente.
    d. Un indicador boleano **Halo** indica el estado del Halógeno.
    e. La gráfica tipo Chart **Historial de Temperatura** muestra el valor de Temperatura, el Setpoint, y el estado del Halógeno.
    f. Adicionalmente, el panel frontal presenta un control boleano tipo switch **Ventilador** para controlar el ventilador y acelerar el proceso de enfriado o introducir una perturbación.
    g. En la siguiente gráfica se presenta un ejemplo de control con tres niveles de Setpoint diferentes.



    h. Puede observarse el rizado típico en sistemas de control On/Off. Haciendo un Zoom en la gráfica puede medirse este rizado con mayor precisión. En este caso, el rizado es de aproximadamente 0.6° por aumento y 0.2° por defecto, dando un total de 0.8°.



3. Parar el programa presionando el botón de **STOP**. Esto asegura que al terminar el programa tanto el Halógeno como el Ventilador se apaguen. Por lo general, los programas de LabVIEW ***no deben*** pararse con el botón de abortar disponible en la barra de herramientas.
4. Abrir el diagrama de bloques para revisar el programa. En general, el programa es similar al de la práctica T3.



   a. Si la temperatura del EPC es mayor que el **Setpoint**, el Halógeno se apaga. Cuando la tempertura es mayor que el **Setpoint** el Halógeno se enciende.
   b. Cuando se presiona el botón de **STOP** el Timed Loop termina sus ciclos y se envían señales de FALSE al Halógeno y al Ventilador.
5. Cerrar el programa sin hacer cambios, asegurándose que tanto el Halógeno como el Ventilador queden apagados.
6. **RETO:** Implementar un control On/Off con brecha diferencial.

Práctica T5: Control de Temperatura PID (mediante PWM)

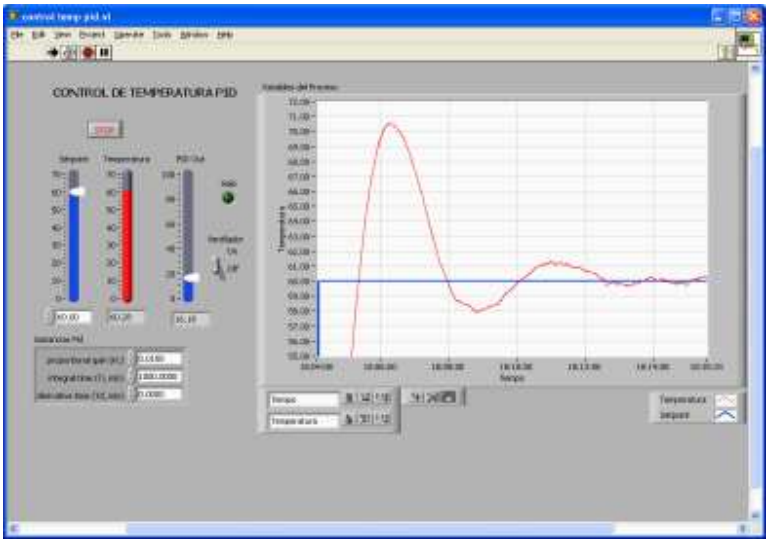
En esta práctica se mejorará el control de temperatura utilizando un controlador PID. Puesto que el bombillo halógeno tiene una operación tipo On/Off, se convertirá la salida analógica del PID en una señal PWM de baja frecuencia observable que será la señal de control del bombillo halógeno. En sistemas industriales más avanzados se utiliza un variador de voltaje, o un PWM de alta frecuencia.

La selección de los valores de las ganancias PID se puede obtener por varios métodos experimentales y analíticos. En este caso se trabajarán con diferentes valores de ganancias de Kp y Ti, manteniendo Td=0, y observando el comportamiento de la variable controlada **Temperatura**.

Los resultados observados en la práctica pueden variar con los expuestos en este manual. Estas variaciones se deberían a varios factores como tiempo de vida del Halógeno, orientación del Halógeno hacia el sensor, temperatura ambiente, y perturbaciones como ráfagas de aire.

Estas prácticas se realizan con el ventilador apagado, pero puede encenderse para acelerar el descenso de temperatura o para introducir perturbaciones en el sistema.

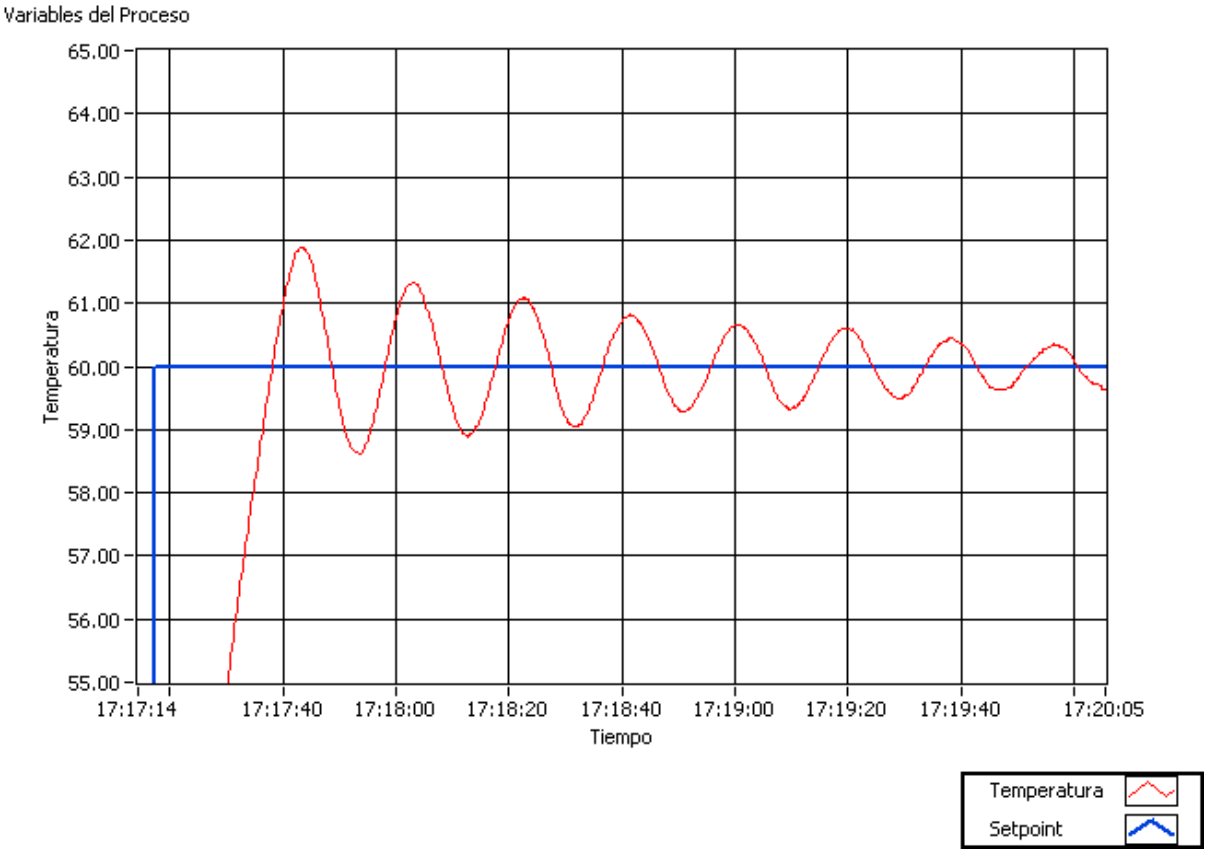
1. Las conexiones son las mismas que en la práctica T3.
2. Abrir el programa `control temp pid.vi`.
    a. En el panel frontal se dispone de un indicador de temperatura tipo Termómetro y un control tipo Slide para establecer el valor de temperatura deseado **Setpoint**, además de un gráfico que muestra tanto la Temperatura como el Setpoint, similar a la práctica anterior. También incluye un control boleano para encender o apagar el Ventilador, y un indicador boleano que muestra el estado del Halógeno.
    b. En este programa se dispone adicionalmente de un control que permite ingresar las Ganancias PID del sistema de control, y de un indicador tipo Slide que muestra la salida del controlador **PID Out**.



3. Colocar el **Setpoint** a 60°C
4. Ingresar los siguientes valores en **Ganancias PID**.

Parámetro	Valor
Kc	1.0
Ti	1000.00
Td	0

5. Correr el programa, y observar el funcionamiento del programa.
6. En un sistema PID se aplica una ganancia al error, consistente en la diferencia entre el valor deseado (**Setpoint**) y el valor de la variable (en este caso, la **Temperatura**). Se puede observar la salida del PID (**PID Out)** como un valor entre 0% y 100%, que regula el tiempo del pulso alto del PWM, cuya frecuencia es 100ms.
7. Como se puede observar, con estos valores de parámetros PID el sistema es estable, pero oscila considerablemente, tendiendo a estabilizarse en el setpoint (en este caso, 60°C).



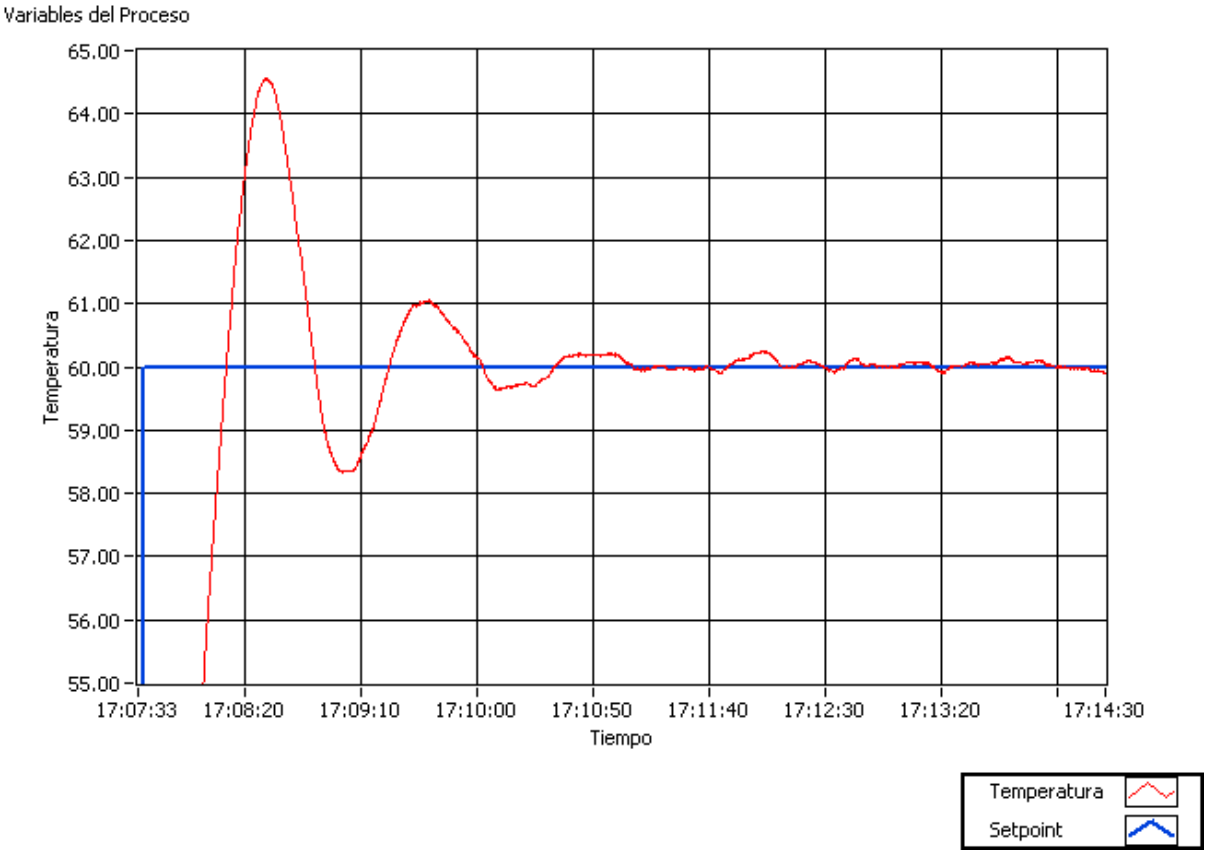
8. Para observar el efecto de usar otras Ganancias PID es necesario antes reducir la temperatura a valores más cercanos que la temperatura ambiente.

a. Colocar el Setpoint a 20°C y encender el ventilador hasta que la temperatura baje al menos a unos 40°C.
b. Una vez que la temperatura se acerque a estos valores, apagar el ventilador. Es posible que la temperatura tienda a subir ligeramente por el calentamiento del Halógeno y del EPC en general.

9. Borrar la gráfica anterior haciendo click con el botón secundario del ratón sobre la gráfica **Variables del Proceso** y seleccionando en el menú desplegable la opción **Clear Chart**.
10. Cambiar las ganancias PID a los siguientes valores

Parámetro	Valor
Kc	0.1
Ti	1000.00
Td	0

11. Cambiar el **Setpoint** nuevamente a 60°C.
12. Observar la respuesta del sistema.



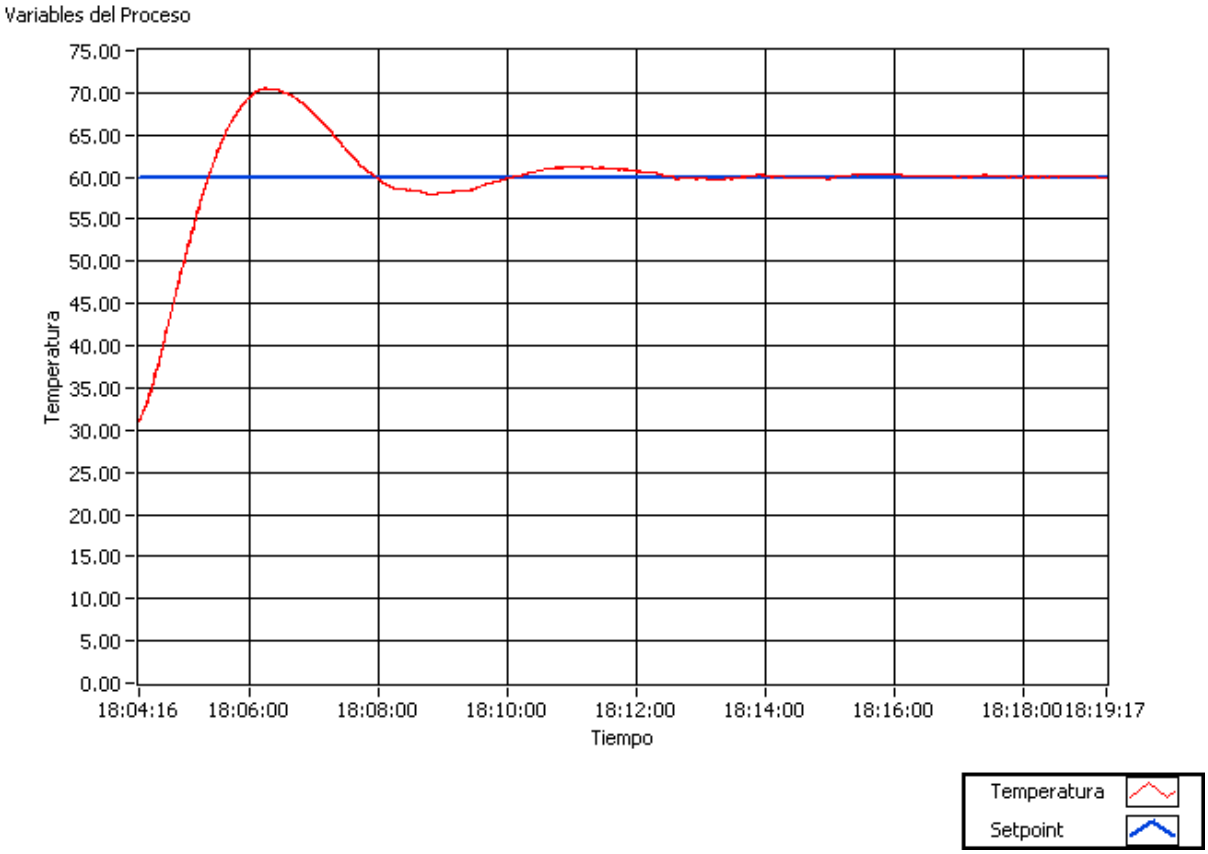
13. Como se puede apreciar, la reducción de la ganancia proporcional produce una respuesta más amortiguada, aunque el tiempo de respuesta se incrementa.
14. Probar nuevamente la respuesta del sistema, esta vez con una ganancia proporcional aún menor. Para observar el efecto de usar otras Ganancias PID es necesario antes reducir la temperatura a valores más cercanos que la temperatura ambiente.

a. Colocar el Setpoint a 20°C y encender el ventilador hasta que la temperatura baje al menos a unos 40°C.
b. Una vez que la temperatura se acerque a estos valores, apagar el ventilador. Es posible que la temperatura tienda a subir ligeramente por el calentamiento del Halógeno y del EPC en general.

15. Borrar la gráfica anterior haciendo click con el botón secundario del ratón sobre la gráfica **Variables del Proceso** y seleccionando en el menú desplegable la opción **Clear Chart**.
16. Cambiar las ganancias PID a los siguientes valores

Parámetro	Valor
Kc	0.01
Ti	1000.00
Td	0

17. Cambiar nuevamente el **Setpoint** a un valor alto, por ejemplo 60°C.
18. Observar la respuesta del sistema



19. Como se puede apreciar, la nueva reducción de la ganancia proporcional produce una respuesta aún más amortiguada que en el caso anterior.
20. También se puede observar que el error es menor que en control On/Off.

Los gráficos mostrados en este manual pueden diferir de los obtenidos experimentalmente en las prácticas, dependiendo de las variaciones de la temperatura ambiental, ráfagas de aire que ingresen por las ranuras del ventilador aún cuando éste esté apagado, tiempo de vida del Halógeno, etc.

De esta forma se han desarrollado prácticas de instrumentación y control de sistemas térmicos. El equipo puede también utilizarse conjuntamente con el Tooklit de Identificación de Sistemas de LabVIEW para modelar matemáticamente el sistema térmico, y el Tooklit de Diseño de Sistemas de Control para diseñar un controlador más eficiente.

Capítulo III: Medición y Control de Velocidad

El EPC incluye un motor de corriente continua (**Motor DC**) en cuyo eje está acoplado un encoder de 36 pulsos por revolución para medir la velocidad. El motor es controlado por una señal de voltaje DC que puede variar entre 0 y 5 voltios. La salida del encoder es una señal pulsante.

En estas prácticas se utilizarán programas para producir la señal de control de corriente continua desde la tarjeta DAQ. Típicamente estas tarjetas soportan señales de hasta 10V y de baja corriente, usualmente por debajo de los 5mA. En estas prácticas se utiliza un voltaje de control máximo de 5V. El EPC incluye un amplificador electrónico lineal que permite ampliar el voltaje de control de un máximo de 5V a un máximo de 12V, además de entregar la corriente necesaria para el funcionamiento del Motor DC.

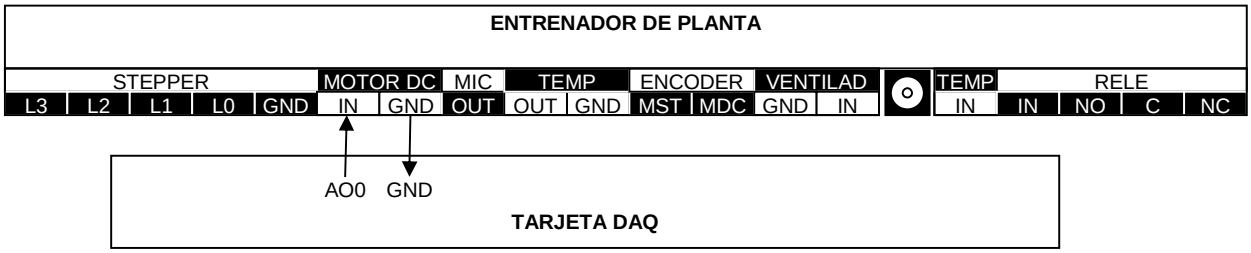
Se sugiere seguir las prácticas en el orden que están expuestas, pues están organizadas en complejidad progresiva.

Se pueden utilizar los programas entregados, pero se sugiere escribir los programas desde el inicio para obtener un mayor entendimiento del funcionamiento, incrementar la experiencia de desarrollo, y generar ideas para mejorarlos e implementar nuevas características.

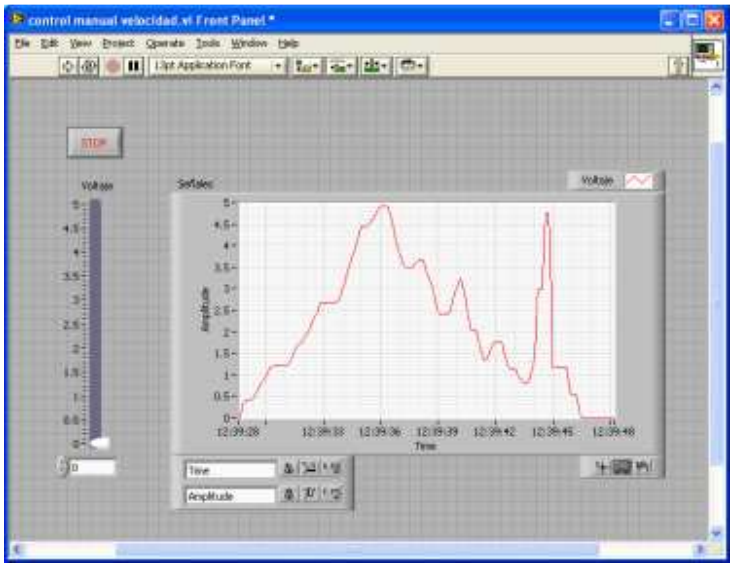
Práctica M1: Control Manual de Velocidad de Motor DC

En esta práctica se utilizará un control numérico en el Panel Frontal para controlar el voltaje de alimentación del Motor DC, y así controlar manualmente la velocidad.

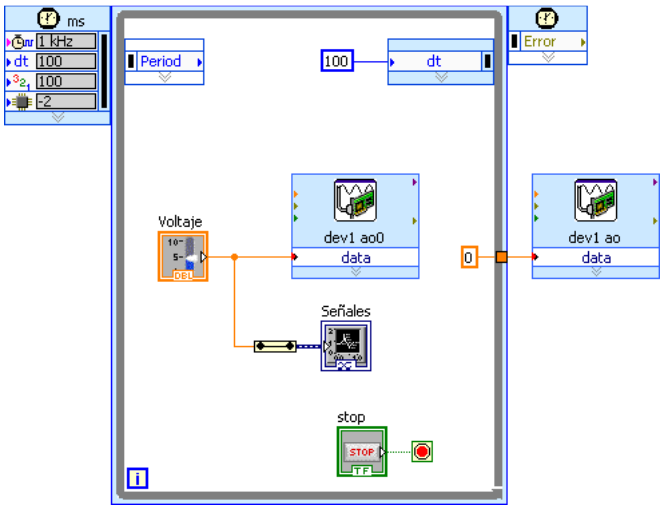
1. Realizar las siguientes conexiones entre el EPC y la tarjeta DAQ:
    a. Conectar una salida analógica de la tarjeta DAQ a la entrada de control del Motor DC **MOTOR DC IN**. En este ejemplo se utiliza la salida analógica número cero (**AO0**) de la tarjeta instalada como **Device 1**.
    b. Conectar la referencia **GND** de la tarjeta DAQ a la referencia **GND** del EPC. Todas las referencias **GND** de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB-6009 y similares); igualmente, todas las referencias **GND** del EPC están conectadas internamente.
    c. Conectar la fuente de poder del EPC.



2. Abrir el programa `control manual velocidad.vi`. El panel frontal presenta los siguientes controles e indicadores:
    a. El control numérico tipo Slide **Voltaje** es el voltaje de salida de la tarjeta DAQ, que puede tomar valores entre 0 y 5 voltios.
    b. El indicador gráfico tipo Chart **Señales** muestra un historial de los valores de voltaje que se han generado
    c. El botón de **STOP** detiene el programa. Es importante detener el programa utilizando este botón y no el botón de abortar de la barra de herramientas porque así se asegura que al parar el programa se detenga el motor, pues se envía un valor de 0V a la salida analógica.



3. Correr el programa
4. Cambiar el valor de Voltaje.
    a. Observar que si el voltaje es relativamente pequeño (usualmente por debajo de 0.5V) el rotor no se mueve. Esto se debe a que el campo magnético generado por la corriente que circula a bajo voltaje no es suficiente para vencer la fricción e inercia del eje.
    b. Observar que mientras mayor es el voltaje, mayor es la velocidad del eje. En las prácticas posteriores se medirá esta velocidad.
5. Abrir el diagrama de bloques para examinar el programa. Nótese que al terminar la ejecución del lazo se envía un valor de cero a la salida analógica para parar el motor cuando se detenga el programa.

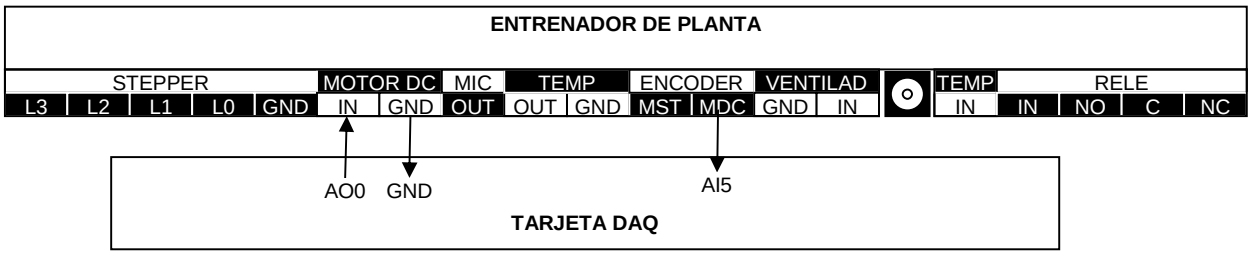


6. Cerrar el programa sin hacer cambios.

Práctica M2: Señal de Encoder – Forma Analógica

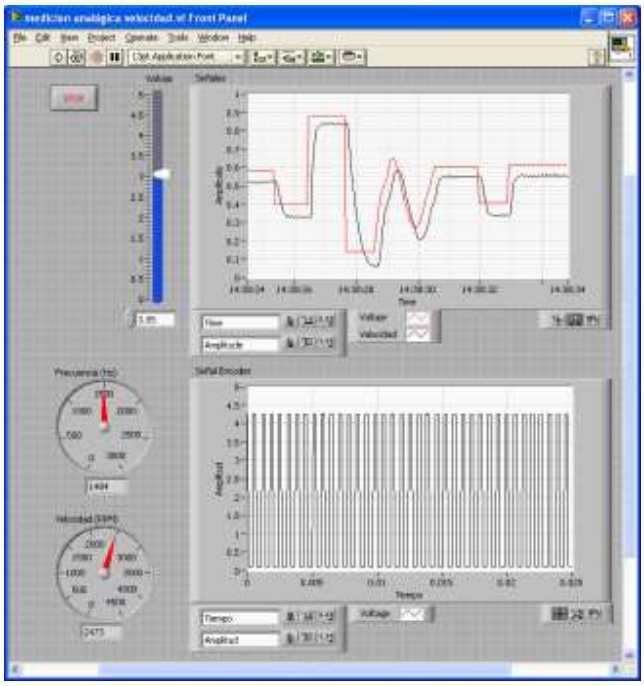
En esta práctica se adquirirá la señal de salida del encoder del Motor DC para analizarla en forma analógica. Además se medirá la frecuencia para determinar la velocidad del motor.

1. Realizar las siguientes conexiones entre el EPC y la tarjeta DAQ:
    a. Conectar una salida analógica de la tarjeta DAQ a la entrada de control del Motor DC **MOTOR DC IN**. En este ejemplo se utiliza la salida analógica número cero (**AO0**) de la tarjeta instalada como **Device 1**.
    b. Conectar la referencia **GND** de la tarjeta DAQ a la referencia **GND** del EPC. Todas las referencias **GND** de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB-6009 y similares); igualmente, todas las referencias **GND** del EPC están conectadas internamente.
    c. Conectar la salida del encoder del Motor DC del EPC llamada **ENCODER MDC** a una entrada analógica de la tarjeta DAQ. En este ejemplo se utiliza la entrada analógica número cinco (**AI5**) en conexión tipo RSE.
    d. Conectar la fuente de poder del EPC.

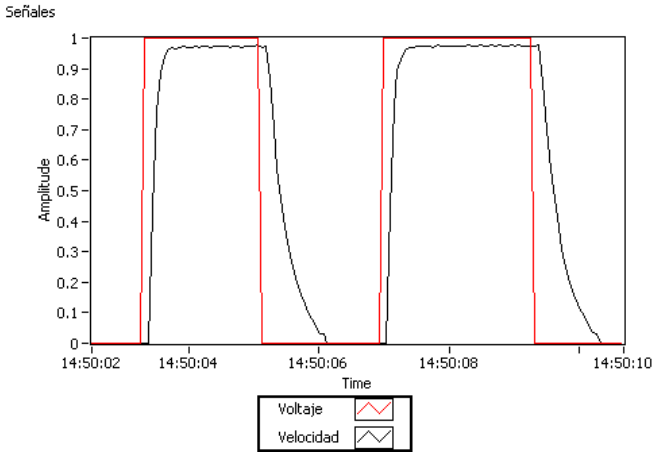


2. Abrir el programa `medición analógica velocidad.vi`. El panel frontal presenta los siguientes controles e indicadores:
    a. El control numérico tipo Slide **Voltaje** es el voltaje de salida de la tarjeta DAQ, que puede tomar valores entre 0 y 5 voltios.
    b. El indicador gráfico tipo Chart **Señales** muestra un historial de los valores de voltaje y de velocidad que se han generado. La magnitud de estas señales están en Valores Por Unidad (VPU). Para el Voltaje el límite máximo es 5 Voltios. Para la Velocidad el límite máximo es 4500 RPM.
    c. El indicador gráfico tipo Graph **Señal Encoder** muestra en forma de osciloscopio la señal de salida del Encoder que es tipo tren de pulsos. Obsérvese que mientras mayor es el Voltaje de control del Motor DC, mayor es la rapidez de giro del eje, y por lo tanto mayor es la frecuencia (menor es el período) de la señal del Encoder.
    d. El indicador tipo Gauge **Frecuencia** muestra cuántos pulsos por segundo (Hz) tiene la Señal del Encoder, mientras que el indicador tipo Gauge **Velocidad** indica la velocidad del eje en revoluciones por minuto (RPM). El disco del encoder tiene 36 ranuras.

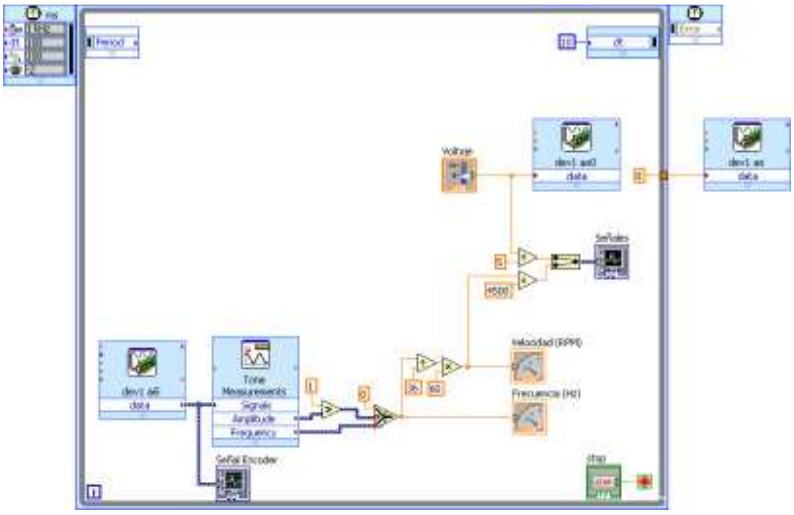
e. El botón de **STOP** detiene el programa. Es importante detener el programa utilizando este botón y no el botón de abortar de la barra de herramientas porque así se asegura que al parar el programa se detenga el motor, pues se envía un valor de 0V a la salida analógica.



3. Modificar el valor de Voltaje y observar cómo varía la velocidad. Cuando el voltaje está en su máximo valor (5 V), la velocidad toma su máximo valor (cerca de 4500 RPM).
4. Para observar la curva de arranque y parada del motor puede aplicarse sucesivamente valores de 0V y luego 5V al voltaje, y notar en la Gráfica **Señales** la forma en que la velocidad responde a esta señal de estímulo tipo escalón, típica de un motor DC.



5. Abrir el diagrama de bloques para analizarlo.



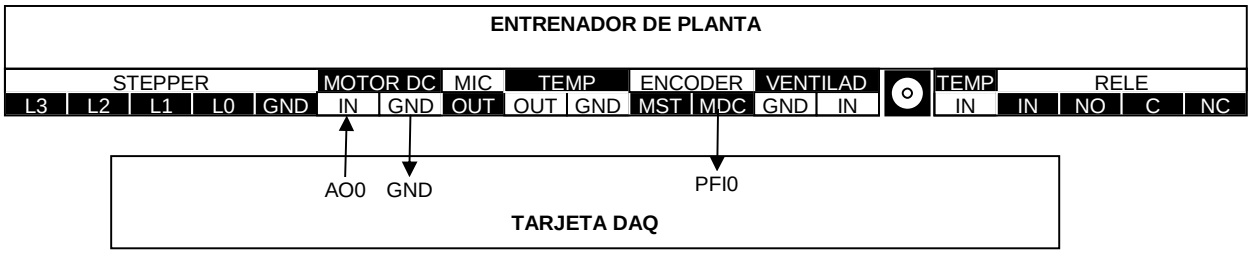
a. La señal adquirida del Encoder en forma analógica es procesada para obtener su frecuencia y su amplitud.
b. Si la amplitud es menor que 1 significa que el Motor DC no está girando, por lo tanto el encoder entregará una señal sin pulsos (y que puede estar en estado alto o bajo según donde haya parado el disco), y la frecuencia que se mide será la del ruido de la señal, mas no de la velocidad.
c. Si la amplitud de la señal es mayor que 1 el motor estará girando y el Encoder entregará una señal tipo tren de pulsos. Entonces la frecuencia medida sí será la cantidad de pulsos por segundo.
d. Las operaciones siguientes son para transformar la frecuencia en revoluciones por minuto (RPM).

6. Cerrar el programa sin hacer cambios.

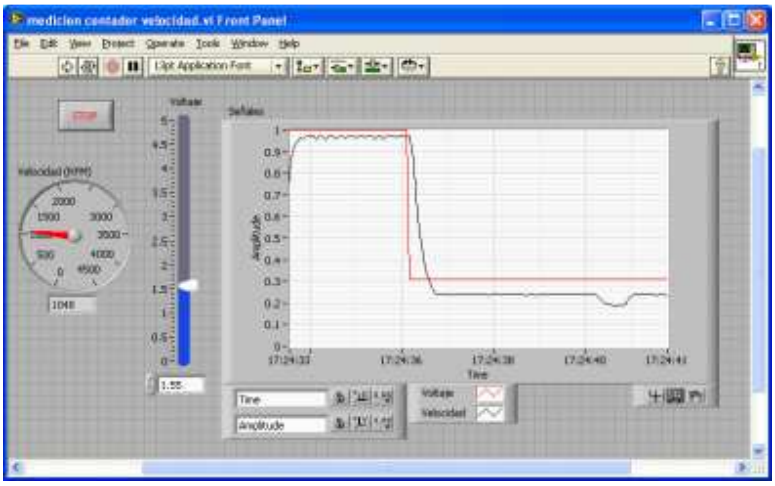
Práctica M3: Señal de Encoder – Forma de Contador Digital

En esta práctica se adquirirá la señal del encoder para analizarla en forma de tren de pulsos, y se medirá la cantidad de pulsos por iteración para determinar la velocidad del motor.

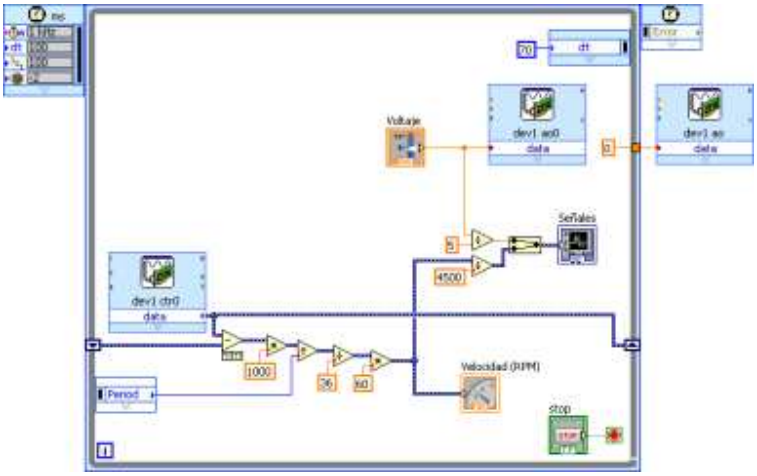
1. Realizar las siguientes conexiones entre el EPC y la tarjeta DAQ:
    a. Conectar una salida analógica de la tarjeta DAQ a la entrada de control del Motor DC **MOTOR DC IN**. En este ejemplo se utiliza la salida analógica número cero (**AO0**) de la tarjeta instalada como **Device 1**.
    b. Conectar la referencia **GND** de la tarjeta DAQ a la referencia **GND** del EPC. Todas las referencias **GND** de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB-6009 y similares); igualmente, todas las referencias **GND** del EPC están conectadas internamente.
    c. Conectar la salida del encoder del Motor DC del EPC llamada **ENCODER MDC** a la entrada de contadores de la tarjeta DAQ. En este ejemplo se utiliza el contador número cero, cuyo terminal en la tarjeta DAQ está identificado como **PFI0** (programmable function input 0).
    d. Conectar la fuente de poder del EPC.



2. Abrir el programa `medición contador velocidad.vi`. El panel frontal presenta los siguientes controles e indicadores:
    a. El control numérico tipo Slide **Voltaje** es el voltaje de salida de la tarjeta DAQ, que puede tomar valores entre 0 y 5 voltios.
    b. El indicador gráfico tipo Chart **Señales** muestra un historial de los valores de voltaje y de velocidad que se han generado. La magnitud de estas señales están en Valores Por Unidad (VPU). Para el Voltaje el límite máximo es 5 Voltios. Para la Velocidad el límite máximo es 4500 RPM.
    c. El indicador tipo Gauge **Velocidad** indica la velocidad del eje en revoluciones por minuto (RPM). El disco del encoder tiene 36 ranuras.
    d. El botón de **STOP** detiene el programa. Es importante detener el programa utilizando este botón y no el botón de abortar de la barra de herramientas porque así se asegura que al parar el programa se detenga el motor, pues se envía un valor de 0V a la salida analógica.



3. Modificar el valor de **Voltaje** de alimentación del Motor DC. Observar la forma en cómo varía la Velocidad al variar el Voltaje. Ésta es igual a la práctica anterior, excepto por la cantidad de ruido a diferentes velocidades. Este método es preferible cuando se tiene un encoder de alta cantidad de pulsos por revolución, pues el programa es más liviano porque no necesita adquisición de datos analógica sino solamente leer del registro del contador de la tarjeta DAQ.
4. Abrir el diagrama de bloques para analizar el algoritmo.

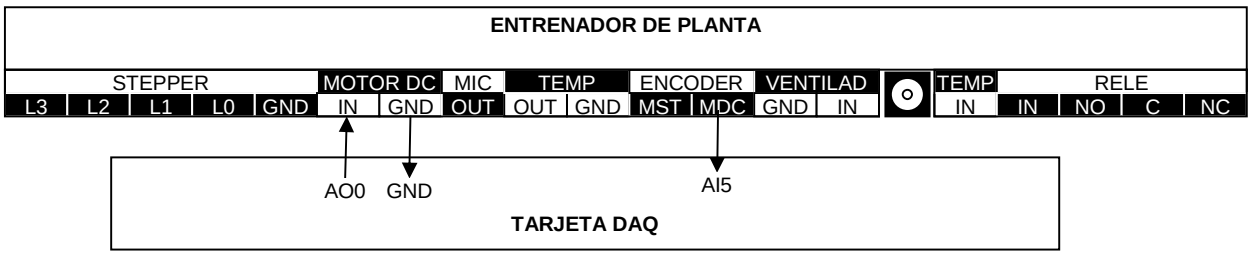


   a. En este caso se ha adquirido la señal del Encoder por medio del contador de la tarjeta DAQ.
   b. Se resta el valor actual del contador con el valor en la iteración anterior para obtener el número de pulsos en una iteración.
   c. Los cálculos siguientes permiten obtener la velocidad en revoluciones por segundo.
5. Cerrar el programa sin hacer cambios.

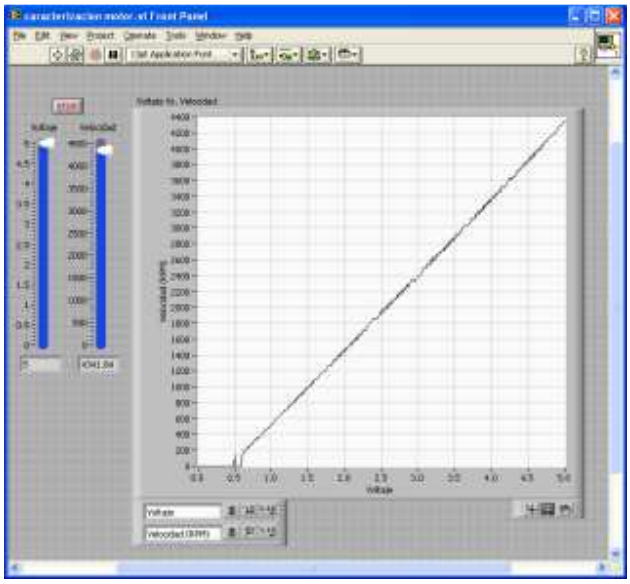
Práctica M4: Caracterización de Motor DC

En esta práctica se utilizarán como bases las prácticas anteriores para obtener una caracterización del Motor en cuanto a linealidad entre la variable de control (Voltaje DC) y la variable controlada (Velocidad). Si el sistema es lineal se puede aplicar un controlador PID. También se podrá observar los rangos en los cuales el sistema es lineal o tiene discontinuidades. Este análisis se hará de manera visual solamente, pero se puede ampliar el programa para mostrar una línea superpuesta al comportamiento del motor para obtener resultados matemáticos exactos.

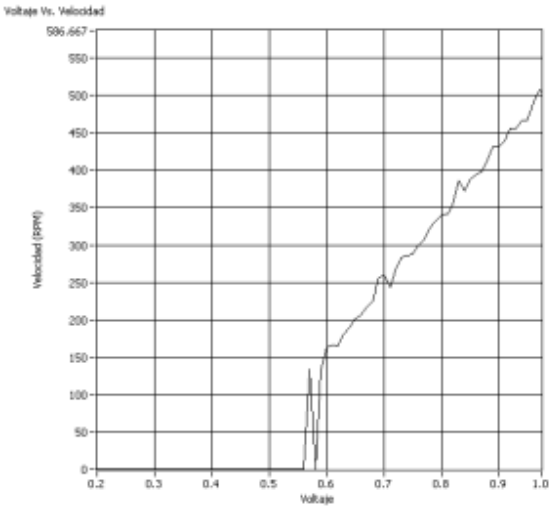
1. Mantener las conexiones de la Práctica M2: Señal de Encoder – Forma Analógica.



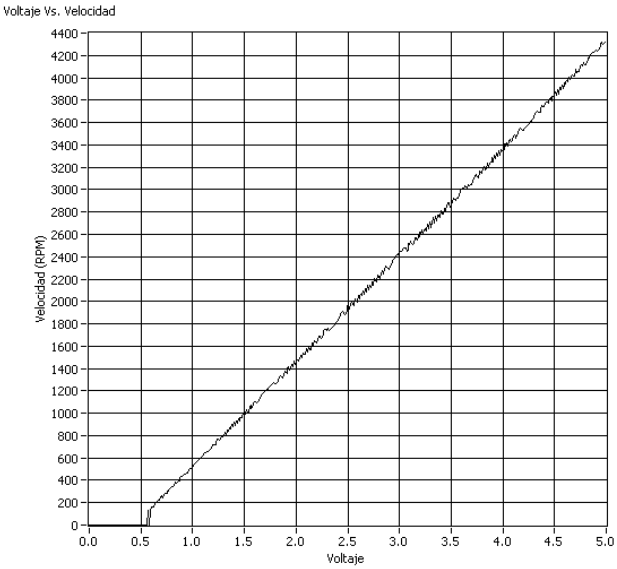
2. Abrir el programa `caracterización motor.vi`. Este programa incrementa automáticamente el Voltaje de control del Motor DC de 0 a 5 voltios en pasos de 0.05 V cada 100ms. Al llegar a los 5V el programa se detiene automáticamente. El panel frontal tiene los siguientes objetos:
    a. El indicador numérico tipo Slide **Voltaje** muestra el voltaje enviado al Motor DC.
    b. El indicador numérico tipo Slide **Velocidad** muestra la velocidad del Motor DC en revoluciones por minuto (RPM).
    c. El gráfico tipo XY **Voltaje Vs. Velocidad** muestra el par de datos ordenados: en el eje X el Voltaje de control del Motor DC, y en el eje Y la Velocidad.
    d. El botón **STOP** permite detener el programa antes que llegue a los 5V.



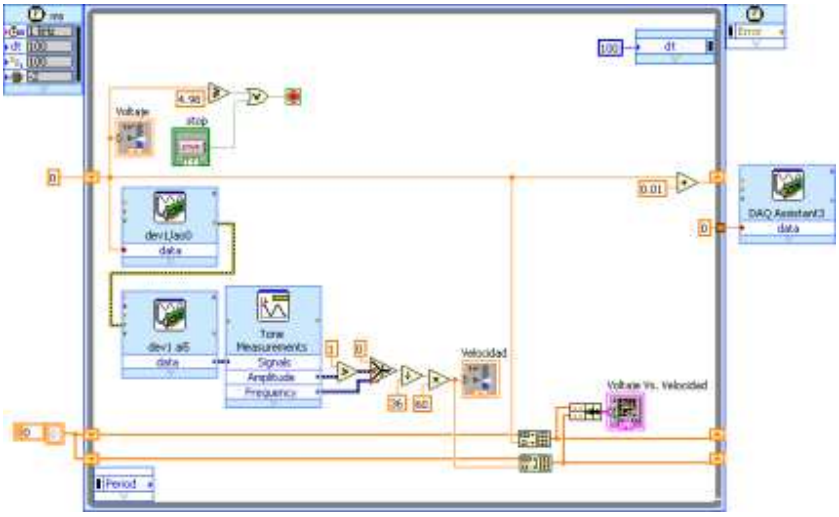
3. Correr el programa.
    a. Observar cómo automáticamente el voltaje sube progresivamente.
    b. De cero a aproximadamente 0.5 V, el voltaje no es suficiente para vencer el rozamiento e inercia del rotor, de modo que éste no rota y la velocidad es cero.
    c. Por sobre los 0.5 V aproximadamente, el rotor empieza a girar repentinamente presentando una discontinuidad. Es posible que existan pequeños pulsos de velocidad debido a que el rotor presenta un ligero movimiento antes de arrancar definitivamente.



    d. A partir de este punto la velocidad presenta un comportamiento lineal con respecto al voltaje. Por lo tanto se puede utilizar un controlador tipo PID en el rango lineal del motor; esto es, desde 0.6V hasta 5V.



4. Abrir el diagrama de bloques para analizar el algoritmo.



   a. La sección del primer Shift Register contando desde la parte superior del programa incrementa progresivamente el valor de Voltaje de salida al Motor DC desde cero hasta 5V en saltos de 0.01 V.
   b. La sección de adquisición de datos y determinación de la velocidad es similar a la utilizada en la Práctica M2: Señal de Encoder – Forma Analógica.
   c. La sección del segundo y tercer Shift Register crean los arreglos de valores X (Voltaje) y Y (Velocidad) para ingresarlos al gráfico tipo XY **Voltaje Vs. Velocidad**.

5. Cerrar el programa sin hacer cambios.

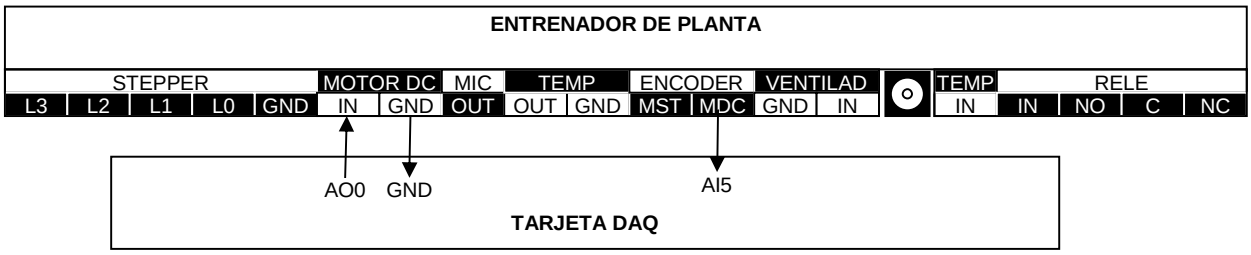
Práctica M5: Control PID de Velocidad de Motor DC

En esta práctica se utilizarán como bases las prácticas anteriores para obtener un control PID de la velocidad del Motor DC.

En muchos sistemas en los que es necesario controlar una variable no es posible modelar matemáticamente la planta debido a la falta de especificaciones. Tal es el caso del Motor DC del EPC. Puesto que no se tienen especificaciones del fabricante sobre la resistencia de armadura, inductancia, amortiguamiento por fricción viscosa, inercia del eje, etc. se deben utilizar métodos experimentales para obtener un conjunto de valores para las ganancias del controlador PID. En esta práctica se utilizará la segunda regla experimental de Ziegler-Nichols.

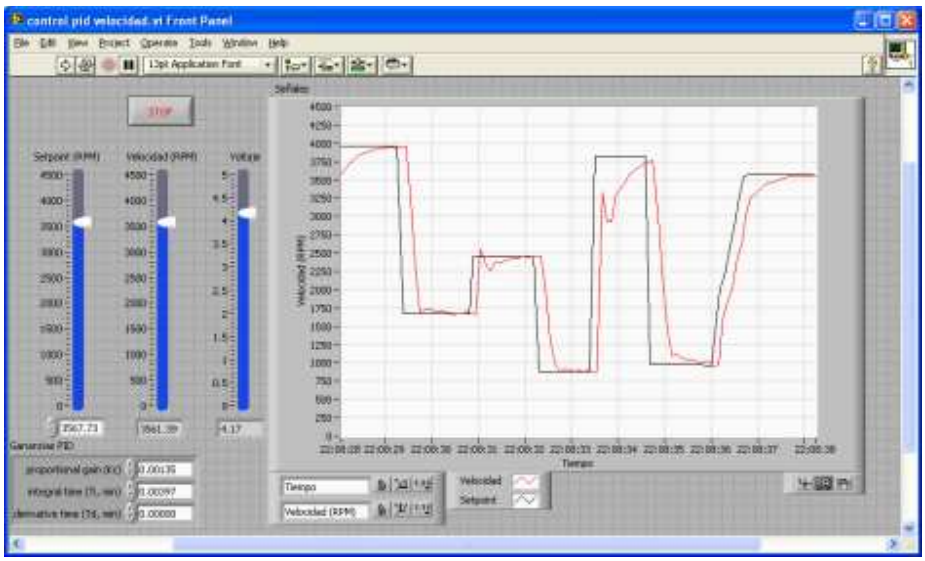
En prácticas más avanzadas puede utilizarse el Toolkit de Identificación de Sistemas de National Instruments para obtener una descripción matemática del Motor DC a partir de señales de estímulo y respuesta.

1. Conectar el EPC a la tarjeta DAQ de la siguiente manera:
    a. Conectar una salida analógica de la tarjeta DAQ a la entrada de control del Motor DC **MOTOR DC IN**. En este ejemplo se utiliza la salida analógica número cero (**AO0**) de la tarjeta instalada como **Device 1**.
    b. Conectar la referencia **GND** de la tarjeta DAQ a la referencia **GND** del EPC. Todas las referencias **GND** de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB-6009 y similares); igualmente, todas las referencias **GND** del EPC están conectadas internamente.
    c. Conectar la salida del encoder del Motor DC del EPC llamada **ENCODER MDC** a una entrada analógica de la tarjeta DAQ. En este ejemplo se utiliza la entrada analógica número cinco (**AI5**) en conexión tipo RSE.
    d. Conectar la fuente de poder del EPC.



2. Abrir el programa `control pid velocidad.vi`. El panel frontal presenta los siguientes controles e indicadores:
    a. El usuario selecciona el valor de velocidad de consigna, es decir, el valor de velocidad al cual se necesita que llegue el Motor, mediante el control numérico tipo Slide **Setpoint**.
    b. El indicador numérico tipo Slide **Velocidad** indica la velocidad a la que el Motor está girando.

c. El indicador numérico tipo Slide **Voltaje** indica el voltaje de salida de la tarjeta DAQ al Motor DC.
d. El clúster de controles numéricos **Ganancias PID** contiene los valores de constantes Proporcional *Kc*, Tiempo Integral *Ti* (en minutos), y el Tiempo Derivativo *Td* (en minutos).
e. El indicador gráfico tipo Chart **Señales** muestra el valor de **Setpoint** (velocidad deseada) y el valor de **Velocidad** (velocidad real), ambas en RPM.



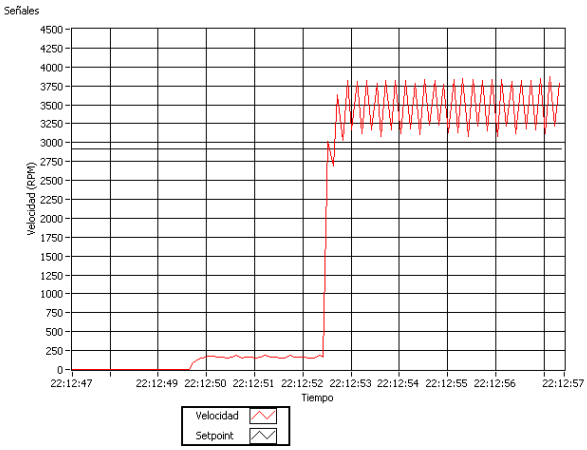
3. Hallar un conjunto de valores para las **Ganancias PID** utilizando el segundo método de Ziegler-Nichols según los siguientes pasos:
   a. Asignar Kc=0, Ti=999999, Td=0
   b. Cambiar los valores de **Setpoint**. Observar que el **Voltaje** no varía, pues no existe acción de control con Kc=0.
   c. Hallar un valor de ganancia proporcional Kc crítico, llamado Kcr, en el cual el voltaje de salida, y por lo tanto la velocidad, varíe de forma periódica en respuesta al escalón, y bajo el cual la salida sea estable en respuesta al escalón. Se recomienda empezar por la unidad, y a continuación ir en incrementos o decrementos de potencias de 10 hasta encontrar Kcr.

      Para crear la función escalón se puede colocar el valor de **Setpoint** en 0, borrar la gráfica tipo Chart, correr el programa, y ingresar un valor de 3000 en **Setpoint** y observar la respuesta.

      En el siguiente ejemplo se muestra un procedimiento sugerido.

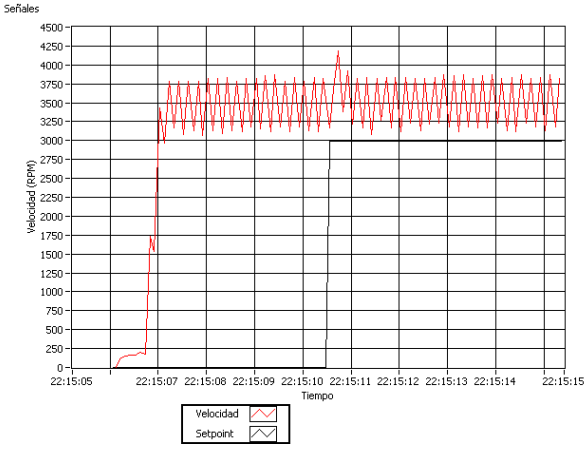
      Los Motores de diferentes EPC podrían tener diferentes especificaciones. Por lo tanto, los valores del siguiente ejemplo pueden diferir de los valores experimentales obtenidos con un EPC diferente.

Asignar Kc=1. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:



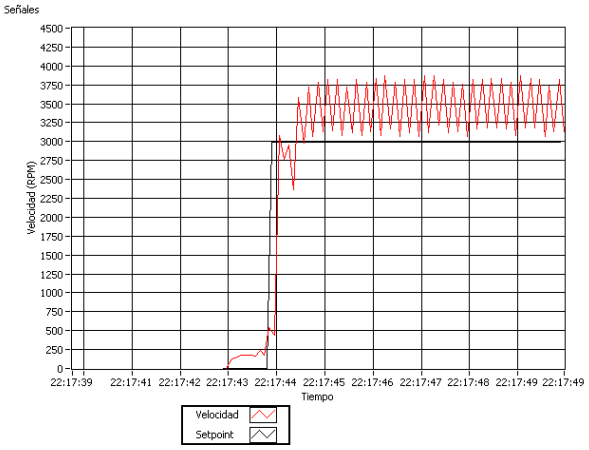
Como se puede observar, la salida varía periódicamente, así que se debe decrecer en una potencia de 10 para confirmar si la señal aún varía periódicamente.

Asignar Kc=0.1. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:



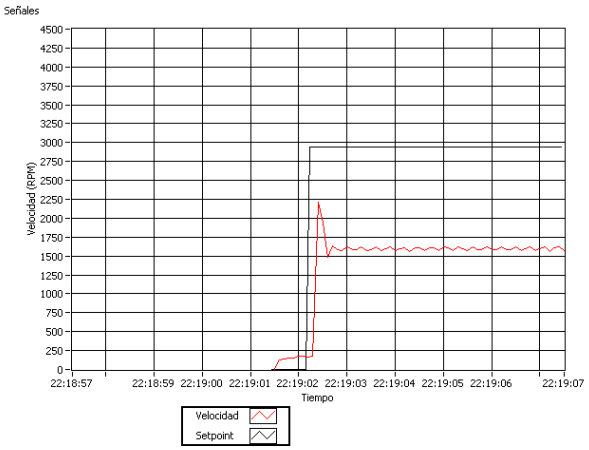
Como se puede observar, la señal aún varía periódicamente, así que debe decrecer en una potencia de 10 para confirmar si la señal aún vería periódicamente.

Asignar Kc=0.01. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:



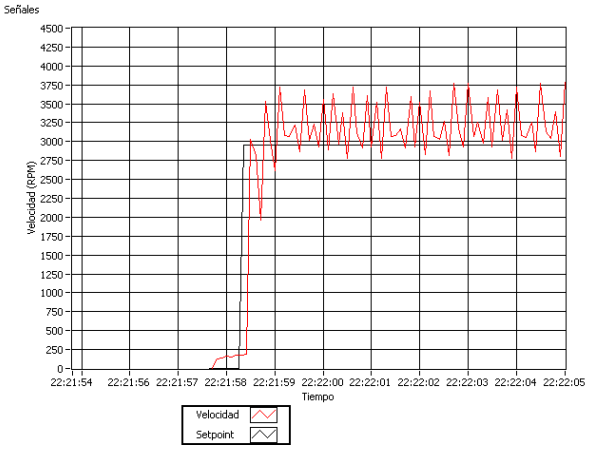
Como se puede observar, la salida aún varía periódicamente, así que debe decrecer en una potencia de 10 para confirmar si la señal aún vería periódicamente.

Asignar Kc=0.001. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:



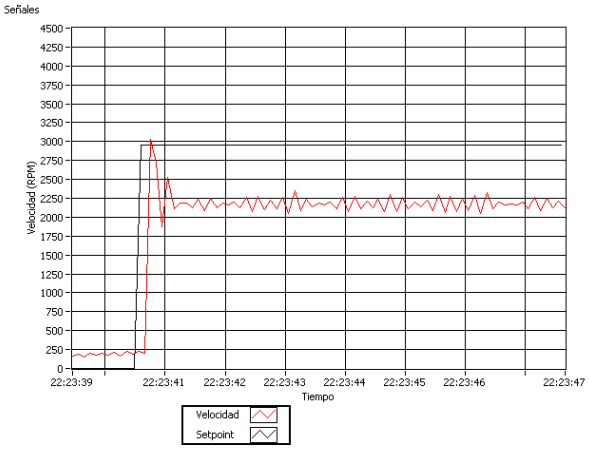
Como se puede observar, la salida ya no oscila. Por lo tanto el valor de Kc crítico está entre 0.001 y 0.01.

Asignar Kc=0.005. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:



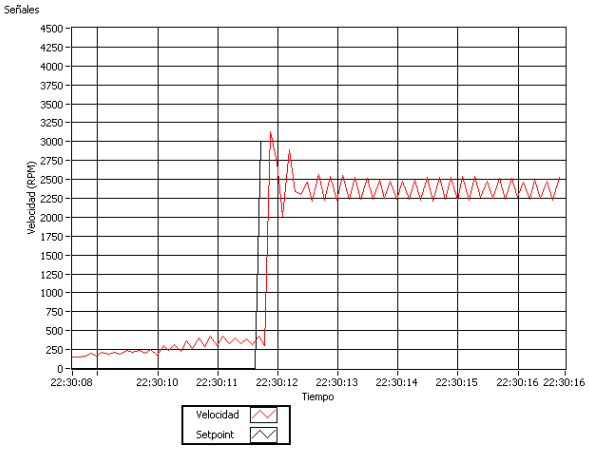
Puesto que la señal oscila, el valor de Kc crítico está entre 0.001 y 0.005.

Asignar Kc=0.0025. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:



Se puede observar que la salida oscila, se estabiliza, vuelve a oscilar, y así sucesivamente. Puede intentarse un nuevo valor de Kc para confirmar una oscilación más evidente.

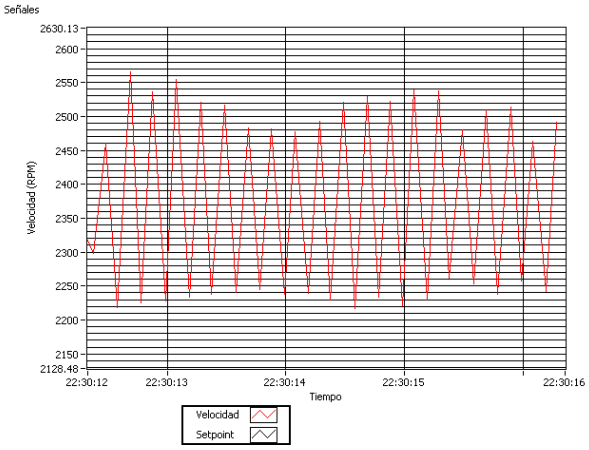
Asignar Kc=0.003. Se obtendrá una señal similar a la siguiente:



Se puede observar que la señal varía periódicamente, así que podría tomarse a éste como el valor de Kc Crítico; así:

Kcr=0.003

A continuación se mide el período crítico. Para ello podemos observar la frecuencia crítica de oscilación de la salida **Fcr**. El período crítico **Pcr** será el inverso de la frecuencia crítica **Fcr**.En este caso se tienen aproximadamente 4.9 ciclos por segundo. Las herramientas de Zoom del gráfico **Señales** pueden ser de mucha utilidad para medir esta frecuencia, tal como se muestra a continuación



Fcr = 4.9 Hz

Pcr = 1/4.9 = 0.2 segundos

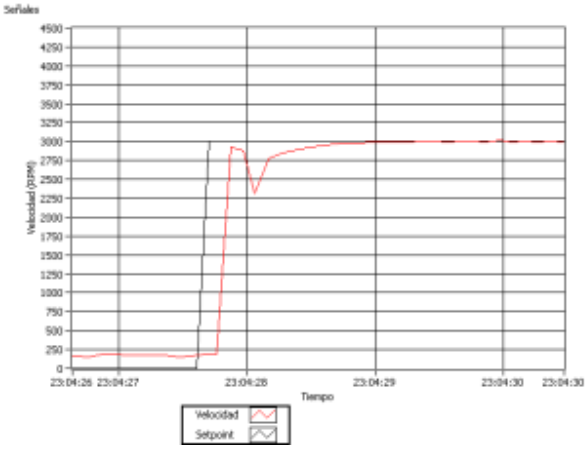
Aplicando la tabla recomendada por el segundo método de sintonía de Ziegler-Nichols se obtienen los siguientes valores (notar que el método proporciona Ti y Td en segundos, mientras que el controlador PID de LabVIEW especifica sus ganancias Ti y Td en minutos).

Tipo de Controlador	Kc	Ti	Td
P	0.5 K_{cr}	inf	0
PI	0.45 K_{cr}	1/1.2 P_{cr}	0
PID	0.6 K_{cr}	0.5 P_{cr}	0.125 P_{cr}

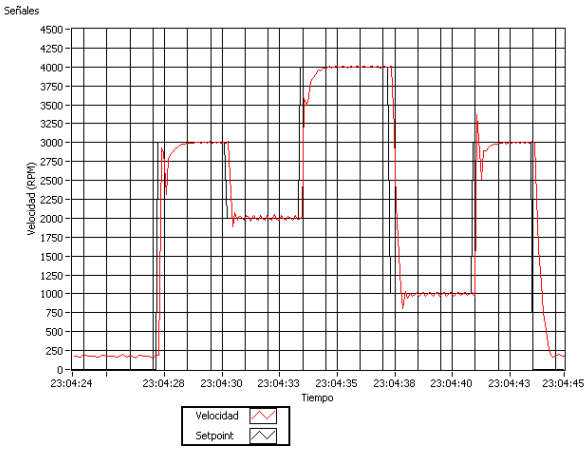
VALORES MEDIDOS EXPERIMENTALMENTE		
Kcr	0.003	
Pcr	0.20	seg
Fcr	4.90	Hz

Tipo de Control	Kc	Ti (seg)	Td (seg)	Ti (min)	Td (min)
P	0.0015	inf	0	inf	0
PI	0.00135	0.1701	0	0.00283	0
PID	0.0018	0.10	0.03	0.00170	0.00043

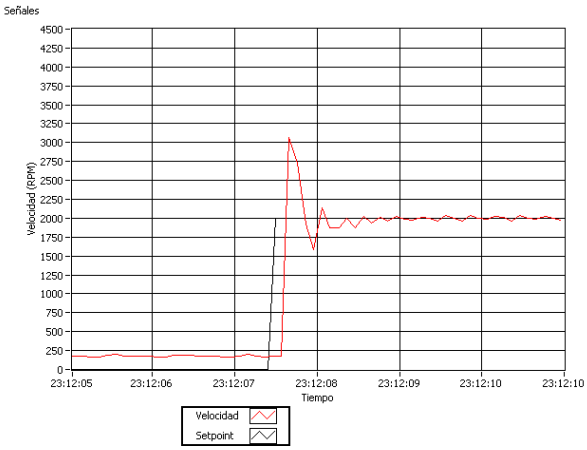
Observando la respuesta al escalón podemos considerar al Motor DC del EPC como un sistema de primer orden. Por lo tanto podemos aplicar un controlador PI. Así, aplicando un valor de Kc=0.00135, Ti(min)=0.00283, Td(min)=0, se obtiene la siguiente señal de respuesta al escalón.



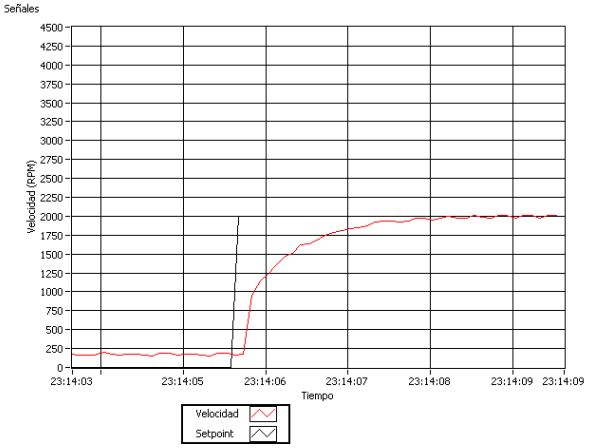
Enviando diferentes valores de escalón pueden observarse que la señal de respuesta sigue correctamente al **Setpoint**.



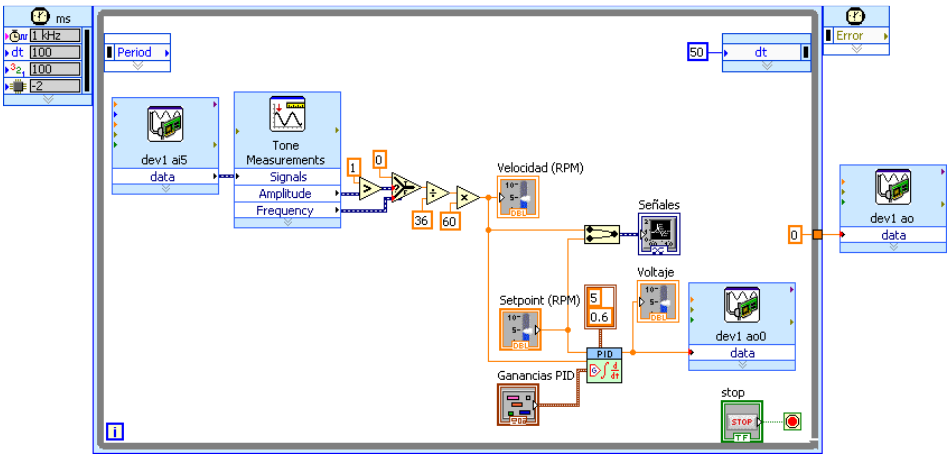
Se puede cambiar los valores de Kc y Td para observar diferentes tipos de respuestas. Por ejemplo, incrementando Kc= 0.00210 y estimulando el sistema con un escalón de 0 a 2000 RPM, se obtiene la siguiente respuesta subamortiguada.



Por otro lado, reduciendo Kc=0.0005 y estimulando el sistema con un escalón de 0 a 2000 RPM, se obtiene la siguiente respuesta sobreamortiguada.



4. Abrir el diagrama de bloques para analizar el algoritmo.



a. La sección de adquisición de datos y medición de velocidad analizando la señal del Encoder como analógica es similar al utilizado en la práctica M2.

b. En el diagrama de bloques puede observarse el ícono de PID, el cual como entradas se encuentran el **Setpoint**, la variable del proceso **Velocidad**, y las **Ganancias PID**. Además se especifica el rango de salida. Puesto que el sistema presentaba una discontinuidad en 0.5 en la cual la velocidad aumentaba en forma de escalón, se ha tomado el rango mínimo de salida como 0.6 V. La salida es el voltaje, el cual se envía a la salida analógica de la tarjeta DAQ que es la que alimenta al Motor DC.

5. Cerrar el programa sin hacer cambios.

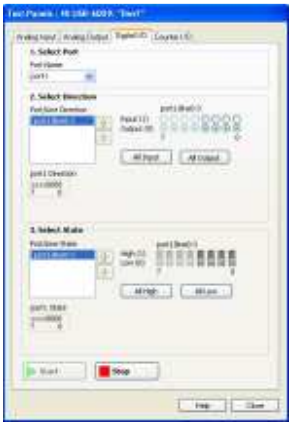
Capítulo IV: Control de Posición

El EPC incluye un motor de pasos unipolar (Stepper) de cuatro entradas digitales disponibles en los terminales **L0**, **L1**, **L2** y **L3**. Conforme se activan las líneas digitales en determinadas secuencias, el motor gira paso a paso. El EPC también incluye un encoder de 36 pulsos por revolución, de modo que cada pulso representará 10°.

En estas prácticas se utilizarán cuatro líneas de un puerto digital la tarjeta DAQ para comandar las bobinas del Stepper de modo que se pueda configurar la secuencia de energizado. El Stepper tiene un giro de aproximadamente 7.5° por cada paso. Por lo tanto, necesitará 48 pasos para girar una revolución completa de 360°.

Las bobinas del Stepper funcionan con lógica directa; es decir, cuando se envía una señal TRUE a una línea del Stepper, la bobina correspondiente se activa.

Si al conectar la tarjeta DAQ se enciende uno o más de los LEDs de Líneas del Stepper (para ubicar estos LEDs referirse al **Capítulo I – Diagrama Esquemático y Conexiones Básicas**) , desconectar inmediatamente la Fuente de Poder de 12VDC, y enviar un FALSE a todas las líneas digitales de la tarjeta DAQ desde el utilitario de la tarjeta DAQ Measurement and Automation Explorer, tal como muestra la figura (en este caso se asume que se han conectado las cuatro líneas del puerto **P1** de la tarjeta DAQ a las líneas del Stepper). Esto pondrá en FALSE a todas las líneas desenergizando todas las bobinas del Stepper.

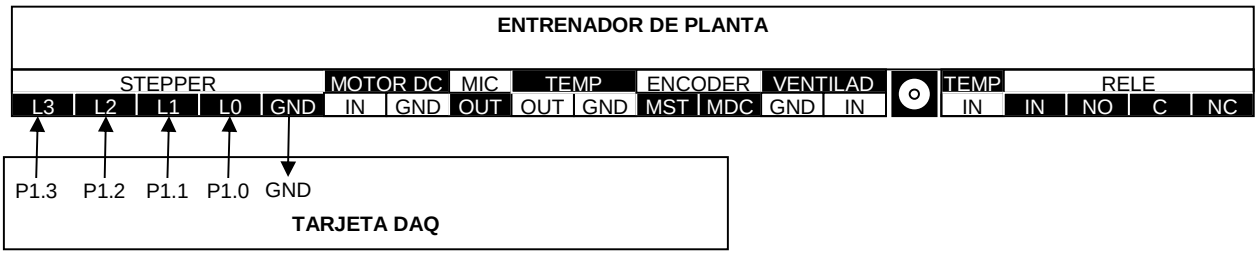


NOTA IMPORTANTE: *Cuando se activan las bobinas del Stepper, los* ***LEDs de Líneas de Stepper*** *se encienden. Si uno o más de estos LEDs se encienden al conectar la tarjeta DAQ, las bobinas estarán energizadas y el Stepper se calentará considerablemente si no se desactivan dentro de pocos minutos, pudiendo provocar daños al equipo, e incluso leves quemaduras en la piel.*

Práctica S1: Secuencia de Encendido Manual

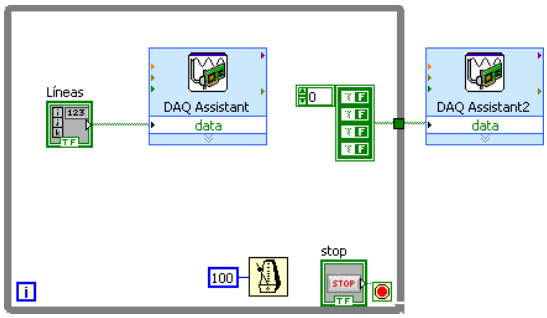
En esta práctica se utilizarán cuatro controles boleanos para encender manualmente cada las bobinas del Stepper mediante cuatro líneas digitales de la tarjeta DAQ. En estos ejemplos se utilizan las cuatro primeras líneas digitales del puerto cero de la tarjeta DAQ (**P1.0**, **P1.1**, **P1.2**, y **P1.3**).

1. Realizar las siguientes conexiones entre el EPC y la tarjeta DAQ:
    a. Conectar las líneas **L0**, **L1**, **L2** y **L3** del Stepper en el EPC a las líneas **P1.0**, **P1.1**, **P1.2**, y **P1.3** de la tarjeta DAQ respectivamente. Recordar que si en este punto una o más líneas del Stepper se encienden indicarán que las bobinas están activadas, provocando calentamiento y posibles daños al equipo si esta situación se mantiene durante algunos minutos.
    b. Conectar la referencia **GND** de la tarjeta DAQ a la referencia **GND** del EPC. Todas las referencias **GND** de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB-6009 y similares); igualmente, todas las referencias **GND** del EPC están conectadas internamente.
    c. Conectar la fuente de poder del EPC.



2. Abrir el programa `secuencia manual.vi`. El panel frontal presenta los siguientes objetos.
    a. Un arreglo de controles boleanos tipo botón **Líneas** envía, línea por línea, señales de TRUE o FALSE al Stepper. Cuando estas líneas se activan o desactivan, se puede observar el estado en los Leds de Líneas de Stepper.
    b. Un botón de **STOP** que detiene el programa. Es importante detener el programa utilizando este botón y no el botón de abortar de la barra de herramientas porque así se asegura que al parar el programa se desactiven todas las líneas del Stepper, pues se envía un valor de FALSE a todas las líneas digitales.

3. Correr el programa
    a. Notar la posición actual del Stepper. Si se desea se puede remover la tapa de acrílico transparente para colocar manualmente el disco en una posición referencial clara, por ejemplo apuntando al Encoder.
    b. Activar solamente la línea **L0** y observar el movimiento del disco.
    c. Desactivar la línea **L0** y activar la línea **L1**. El disco se habrá movido 7.5°.
    d. Desactivar la línea **L1** y activar la línea **L2**. Nuevamente el disco se habrá movido 7.5°, un total de 15° en los dos pasos.
    e. Calcular cuántos pasos deben darse para completar 45° de giro y repetir la secuencia anterior hasta completarlo. Cuando se llega a activar la línea **L3**, para dar el siguiente paso se debe desactivar la línea **L3** y activar la **L0**, comenzando nuevamente la secuencia.
    f. Para que el disco gire en sentido contrario se requiere enviar la secuencia en sentido inverso.
4. Parar el programa presionando el botón de **STOP**-
5. Abrir el diagrama de bloques para analizar el algoritmo.

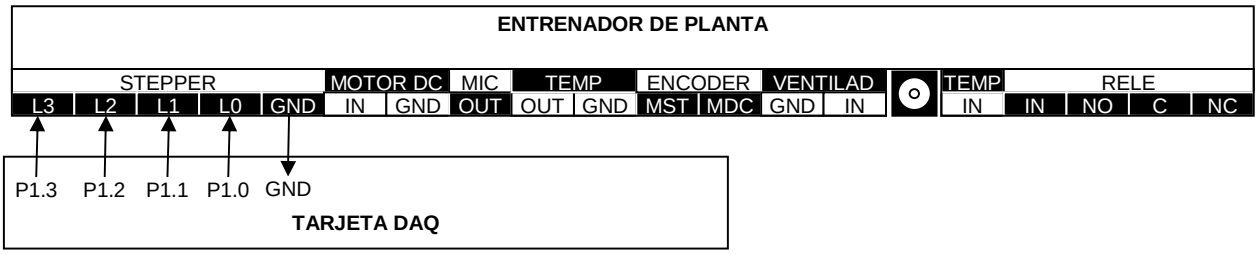


6. Cerrar el programa sin guardar los cambios.

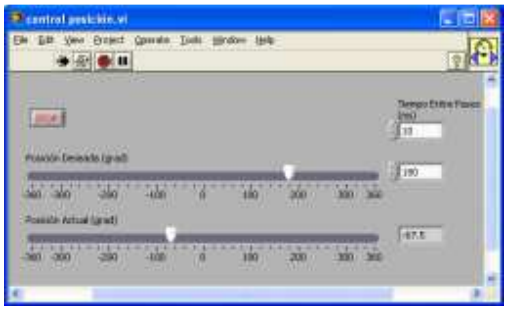
Práctica S2: Control de Posición

En esta práctica se utiliza un control numérico para especificar la posición angular a la que debe apuntar el disco del Stepper. Dada las especificaciones de este equipo, la posición final tendrá una precisión de 7.5° debido a la resolución del paso.

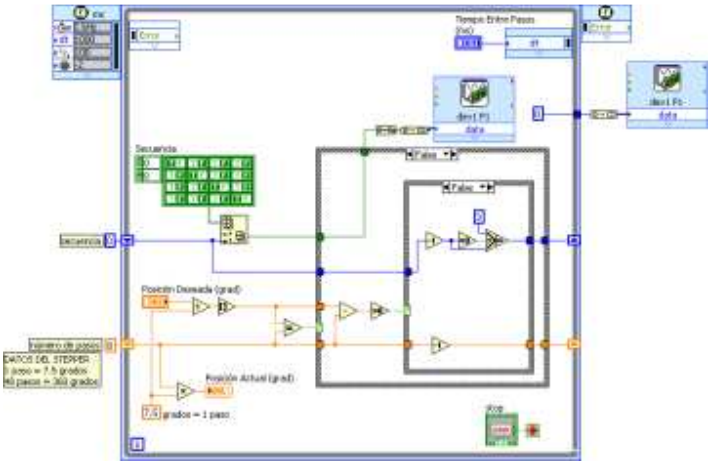
1. Realizar las siguientes conexiones entre el EPC y la tarjeta DAQ:
    a. Conectar las líneas **L0**, **L1**, **L2** y **L3** del Stepper en el EPC a las líneas **P1.0**, **P1.1**, **P1.2**, y **P1.3** de la tarjeta DAQ respectivamente. Recordar que si en este punto una o más líneas del Stepper se encienden indicarán que las bobinas están activadas, provocando calentamiento y posibles daños al equipo si esta situación se mantiene durante algunos minutos.
    b. Conectar la referencia **GND** de la tarjeta DAQ a la referencia **GND** del EPC. Todas las referencias **GND** de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB-6009 y similares); igualmente, todas las referencias **GND** del EPC están conectadas internamente. En este ejemplo se utiliza el **GND** de la sección de temperatura.
    c. Conectar la fuente de poder del EPC.



2. Abrir el programa `control posición.vi`. El panel frontal presenta los siguientes objetos.
    a. Un control numérico tipo Slide **Posición Deseada (grad)** para especificar la posición angular en grados a la cual debe apuntar el disco del Stepper. Incluye un control tipo numérico para colocar valores exactos.
    b. Un control numérico **Tiempo Entre Pasos (ms)** para especificar cuántos milisegundos debe esperar el programa antes de realizar el siguiente paso.
    c. Un indicador numérico tipo Slide **Posición Actual (grad)** que especifica la posición angular en grados a la que está apuntando en determinado momento el disco del Stepper.
    d. Un botón de **STOP** que detiene el programa. Es importante detener el programa utilizando este botón y no el botón de abortar de la barra de herramientas porque así se asegura que al parar el programa se desactiven todas las líneas del Stepper, pues se envía un valor de FALSE a todas las líneas digitales.



3. Correr el programa.
    a. Notar la posición actual del Stepper. Si se desea se puede remover la tapa de acrílico transparente para colocar manualmente el disco en una posición referencial clara, por ejemplo apuntando al Encoder.
    b. Seleccionar un **Tiempo Entre Pasos** de 100 ms.
    c. Introducir un valor de **Posición Deseada** de 180° e inmediatamente notar el movimiento del disco del Stepper y del indicador numérico **Posición Actual**. Luego de cada paso el programa esperará 100 ms antes de dar el siguiente. También puede notarse la secuencia de encendido de las líneas observando los LEDs de Líneas de Stepper en la tarjeta electrónica del EPC.
    d. Utilizar el desplazador del control tipo Slide **Posición Deseada** para cambiar la posición utilizando el ratón. Notar el movimiento del disco del Stepper, así como del indicador **Posición Actual**, y el encendido de los LEDs de Líneas del Stepper.
    e. Cambiar el **Tiempo Entre Pasos** a 10 ms y repetir los pasos *c* y *d*. Introducir diferentes valores en **Posición Deseada**, como por ejemplo un valor de 3600° que equivale a 10 revoluciones completas. Comprobar la precisión del movimiento.
    f. Cambiar el **Tiempo Entre Pasos** a 0 ms y repetir los pasos *c* y *d.* Introducir nuevamente diferentes valores en **Posición Deseada**, como por ejemplo un valor de 3600° que equivale a 10 revoluciones completas. Comprobar la precisión del movimiento. Notar cómo eventualmente el Stepper puede saltarse pasos debido a que el programa corre más rápido de lo que el Stepper puede girar.
4. Abrir el diagrama de bloques para analizar el algoritmo.



5. Cerrar el programa sin guardar cambios.

Capítulo V: Análisis de Sonido

El ECP incluye un micrófono que permite adquirir la señal de sonido mediante la tarjeta DAQ. Esta señal es de tipo corriente alterna, y el procesamiento que se realiza es un análisis de espectros y otras mediciones típicas.

En estas prácticas se asume que se utiliza una tarjeta DAQ genérica como la USB-6009, y el objetivo es comprender las bases de este tipo de análisis. Sin embargo, para aplicaciones de alto desempeño es necesario utilizar una tarjeta de adquisición de datos específica para análisis dinámico de señales (DSA). Las principales características de este tipo de tarjetas son:

- Alta resolución, necesaria para detectar armónicos de alta y baja magnitud
- Filtros Anti-Alias para eliminar el Alias debido al muestreo
- Muestreo simultáneo para evitar el desfasaje en adquisición de datos en varios canales
- Acoplamiento AC/DC para eliminar las componentes de corriente contínua

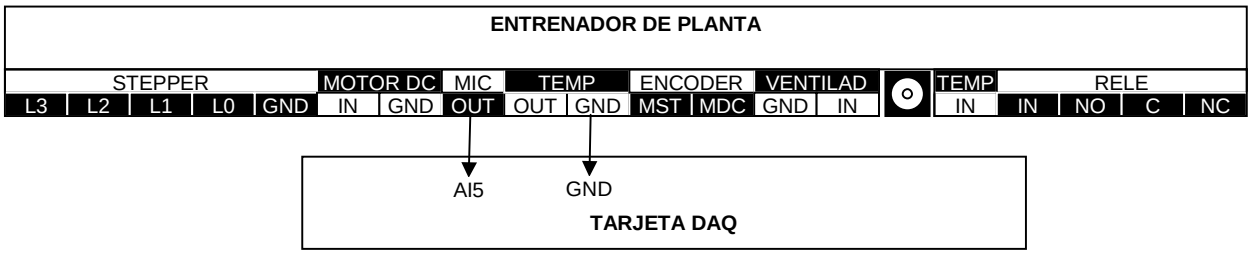
Este tipo de análisis es similar al que se requiere en aplicaciones de medición de calidad de energía, vibración, telecomunicaciones, y aplicaciones DSP en general.

Práctica DSA1: Medición de Armónicos

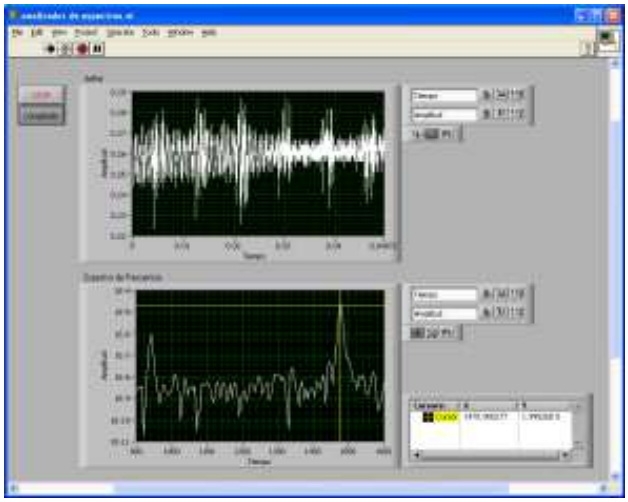
En esta práctica se utilizará una entrada analógica de alta velocidad para adquirir la señal del micrófono, observar su forma de onda, realizar un análisis de armónicos, y medir las frecuencias fundamentales.

Se recomienda utilizar un teléfono para, presionando los botones del teclado numérico, generar sonido y analizar su contenido de frecuencia.

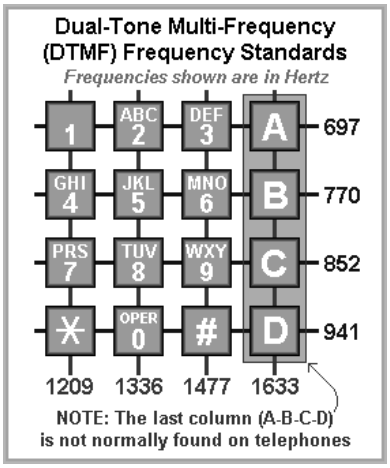
1. Realizar las siguientes conexiones entre el EPC y la tarjeta DAQ:
    a. Conectar la salida del micrófono **MIC OUT** a una entrada analógica de la tarjeta DAQ. En estas prácticas se utiliza la entrada analógica número cinco **AI5** en conexión RSE.
    b. Conectar la referencia **GND** de la tarjeta DAQ a la referencia **GND** del EPC. Todas las referencias **GND** de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB-6009 y similares); igualmente, todas las referencias **GND** del EPC están conectadas internamente.
    c. Conectar la fuente de poder del EPC.



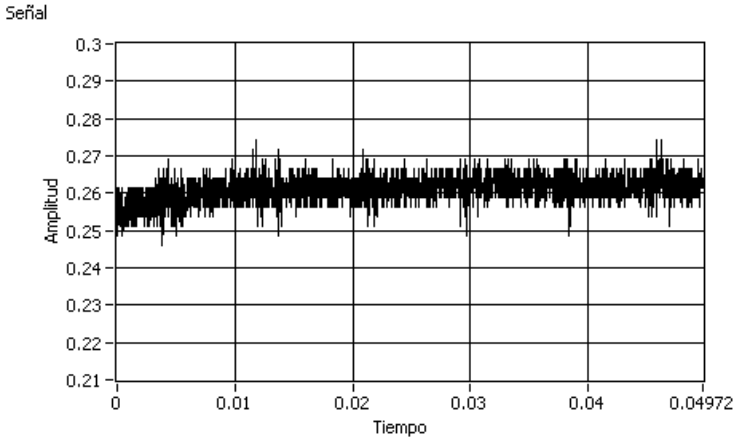
2. Abrir el programa `analizador de espectros.vi`. El panel frontal presenta los siguientes objetos.
    a. Un indicador tipo gráfico **Señal** muestra la señal en dominio del tiempo en forma de osciloscopio. Las herramientas de escala y gráficas permiten observar en detalle la forma de onda, hacer zoom, etc.
    b. Un indicador tipo gráfico **Espectro de Frecuencia** muestra el espectro de potencia de la señal adquirida, calculado a partir de una transformada rápida de Fourier (FFT). Las herramientas de escala, gráfica y de cursor permiten observar en detalle el espectro, hacer zoom, mover el cursor, etc.
    c. El botón **Congelar** permite congelar las imágenes para hacer los análisis.
    d. El botón **STOP** termina la ejecución del programa.



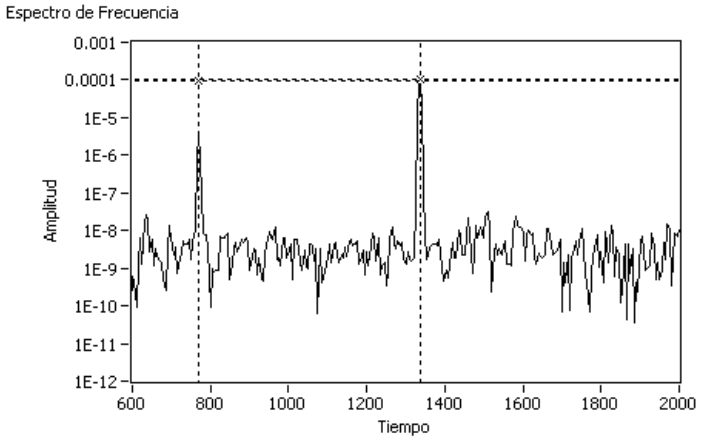
3. Correr el programa.
    a. Producir un sonido cerca del micrófono. Utilizar el sonido que produce el presionar diferentes teclas de un teléfono celular (DTMF). En la siguiente gráfica se presenta la composición de tonos de un teclado de este tipo.



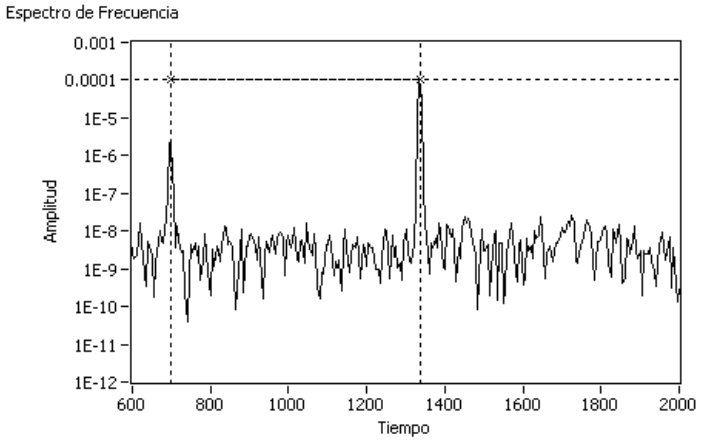
    b. Observar que en ausencia de sonido existe una señal ruidosa con una componente de corriente continua cerca de 0.25V. Esta componente es también típica en las señales adquiridas de un acelerómetro.



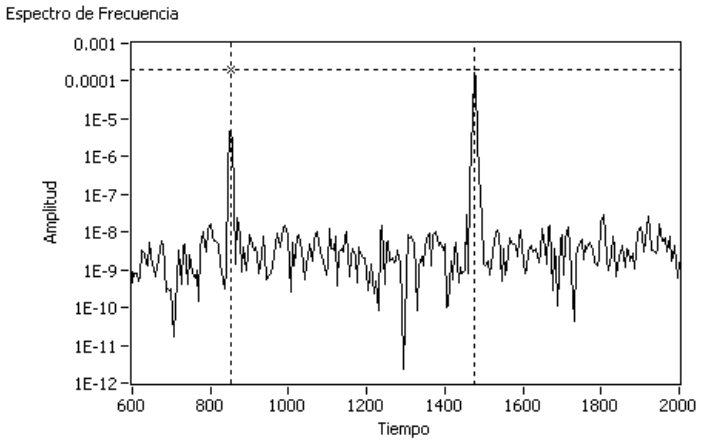
c. La desventaja de tener una señal de estas características es que el rango de voltaje de la tarjeta se desperdicia en toda la zona en que no existe señal. Por esta razón es necesario utilizar una tarjeta con acoplamiento AC/DC y alta resolución en aplicaciones profesionales o de alto desempeño. En estas prácticas se corregirá esta componente DC mediante software.
d. Presionar la tecla #5. Congelar la imagen para analizarla
e. En el gráfico **Espectro de Frecuencia** se podrán observar dos componentes de armónicos, el principal en 1336 Hz, y una más baja en 770 Hz.



f. Descongelar la imagen presionando nuevamente sobre el botón **Congelar**. Las gráficas deben mostrar nuevamente en tiempo real la señal adquirida.
g. Presionar la tecla #2 del teclado del teléfono y adquirir el sonido que produce. Cuando se tenga una señal clara, presionar el botón **Congelar** para que la imagen no se pierda al soltar la tecla
h. En el gráfico **Espectro de Frecuencia** se podrán observar dos componentes de armónicos, el principal en 1336 Hz, y una más baja en 697 Hz.

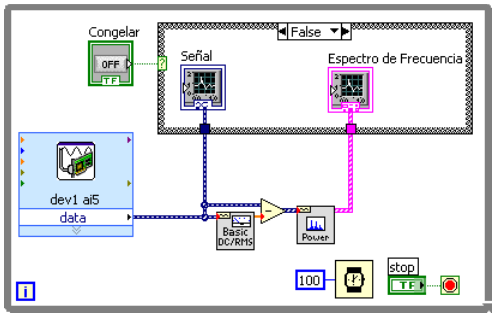


i. Repetir el análisis, esta vez presionando la tecla #9. Observar los componentes del espectro de potencia, el alto en 1477Hz y el bajo en 852 Hz.



j. Confirmar las mediciones con la gráfica que especifica las frecuencias estándar para un teclado DTMF.

4. Parar el programa presionando el botón de **STOP**.
5. Abrir el diagrama de bloques para analizar el algoritmo.



a. La adquisición de datos se está realizando a una velocidad de 40kS/s, y se adquieren 8k muestras.

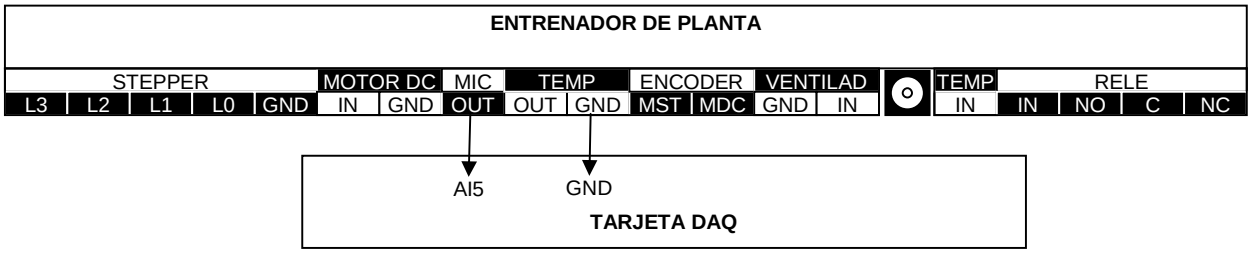
b. El programa mide la componente de corriente continua DC y la resta de la señal original para obtener el espectro de potencia sin dicha componente.
c. El botón **Congelar** inhibe la escritura de nuevos datos en las gráficas **Señal** y **Espectro de Frecuencia**.

6. Cerrar el programa sin hacer cambios.

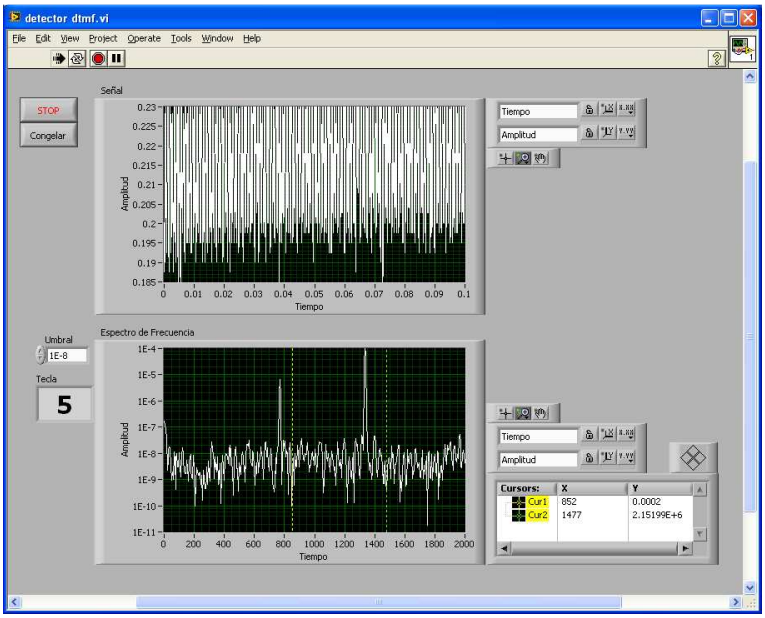
Práctica DSA2: Detección DTMF

En esta práctica se utilizará como base la práctica anterior, junto a herramientas de análisis más avanzadas para detectar qué tecla del teléfono se ha presionado, tales como eliminación de la componente de corriente continua, filtrado de frecuencias no deseadas, y medición de tonos.

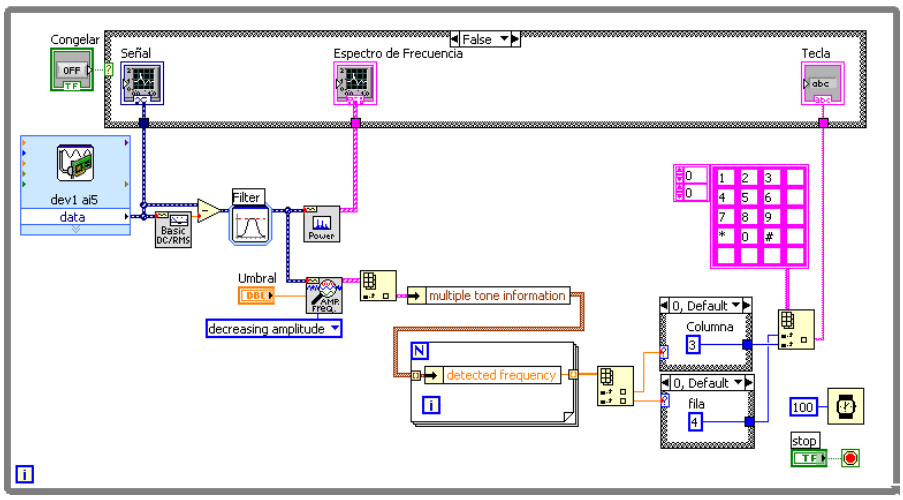
1. Realizar las siguientes conexiones entre el EPC y la tarjeta DAQ:
    a. Conectar la salida del micrófono **MIC OUT** a una entrada analógica de la tarjeta DAQ. En estas prácticas se utiliza la entrada analógica número cinco **AI5** en conexión RSE.
    b. Conectar la referencia **GND** de la tarjeta DAQ a la referencia **GND** del EPC. Todas las referencias **GND** de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB-6009 y similares); igualmente, todas las referencias **GND** del EPC están conectadas internamente.
    c. Conectar la fuente de poder del EPC.



2. Abrir el programa `detector dmft.vi`. El panel frontal presenta los siguientes objetos.
    a. Un indicador tipo gráfico **Señal** muestra la señal en dominio del tiempo en forma de osciloscopio. Las herramientas de escala y gráficas permiten observar en detalle la forma de onda, hacer zoom, etc.
    b. Un indicador tipo gráfico **Espectro de Frecuencia** muestra el espectro de potencia de la señal adquirida, calculado a partir de una transformada rápida de Fourier (FFT). Las herramientas de escala, gráfica y de cursor permiten observar en detalle el espectro, hacer zoom, mover el cursor, etc.
    c. Notar que las autoescalas están desactivadas, de forma que se puedan observar solamente la porción de información que interesa.
    d. Un indicador tipo string **Tecla** que muestra qué botón se ha detectado presionado
    e. El control numérico **Umbral** define el valor sobre el cual serán considerados los tonos. Esto permite que al detectar ruido de baja amplitud, éste no sea considerado en las mediciones. El valor predeterminado es 1E-8, pero puede ser cambiado para teclados con volumen más bajo.
    f. El botón **Congelar** permite congelar las imágenes para hacer los análisis sin necesidad de parar el programa.
    g. El botón **STOP** termina la ejecución del programa.



3. Correr el programa.
    a. Acercar el audífono del teléfono al micrófono del EPC y presionar una tecla
    b. Observar la forma de la onda, el espectro de frecuencia, y el indicador **Tecla** para confirmar que se ha detectado la tecla presionada.
    c. En caso de no detectarse, acercar más el teléfono al micrófono.
4. Parar el programa presionando el botón **STOP**.
5. Abrir el diagrama de bloques para analizar el algoritmo



    a. Puesto que la señal original tiene una componente de corriente continua, se resta la señal original menos el valor DC para eliminarla.

b. Puede existir una componente de ruido, dependiendo de la frecuencia de red de alimentación, de la fuente de poder, del muestreo y del ruido electromagnético. Por lo tanto es conveniente filtrar la señal de entrada con un filtro de paso bajo para eliminar esas componentes “alias” de la señal y detectar únicamente las frecuencias alrededor de los tonos buscados.
c. El programa utiliza la función de medición de varios componentes de frecuencia, los organiza por orden de amplitud, de la más alta a la más baja, y toma los dos componentes más altos.
d. Las estructuras de caso detectan si los dos tonos principales están cerca de las frecuencias estándar de un teclado DTMF con una precisión de ±10 Hz.
e. Si ambas frecuencias están en rango, se indexa un arreglo bidimensional de strings que contienen la disposición del teclado según los tonos.

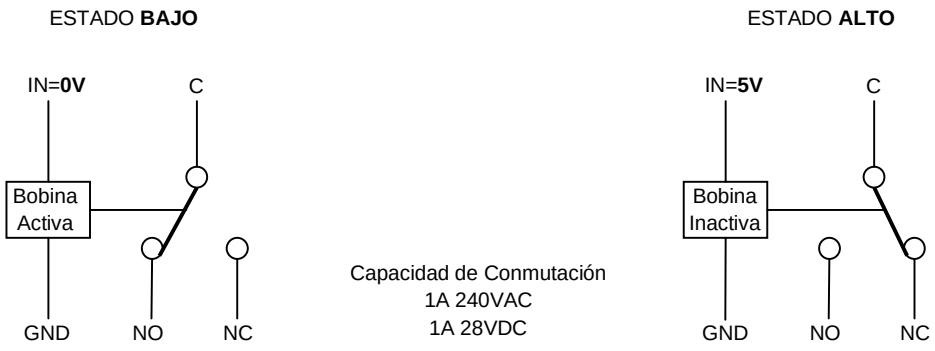
6. Cerrar el programa sin hacer cambios.

Capítulo VI: Relé de Propósito General

El EPC incluye un relé electromecánico para aplicaciones de conmutación de propósito general. Este relé es tipo SPDT, por lo tanto incluye un contacto común **C**, un contacto normalmente abierto **NO** (por "Normally Open"), y un contacto normalmente cerrado **NC** (por "Normally Closed"). Para controlar la bobina **IN** (por "Input") se la alimenta con una señal tipo TTL.

El relé funciona con lógica inversa; es decir:

- Cuando se envía un estado BAJO (0V) a la bobina del relé, éste se activa conmutando el terminal común **C** con el terminal normalmente abierto **NO**.
- Cuando se envía un estado ALTO (5V) a la bobina del relé, éste se desactiva conmutando el terminal común **C** con el terminal normalmente cerrado **NC**.

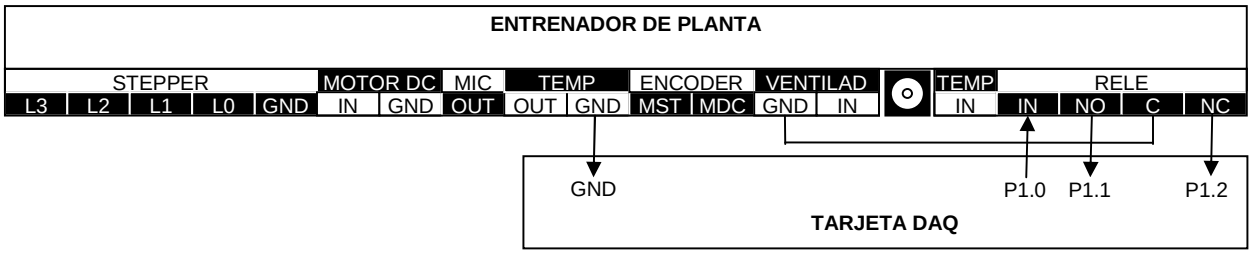


NOTA IMPORTANTE: *Aunque en la superficie del relé puede leerse que soporta conmutaciones de hasta 10A, debido a consideraciones de aislamiento no se deben conmutar cargas más altas que 1A.*

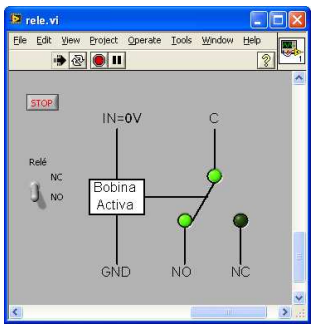
Práctica R1: Test de Conmutación

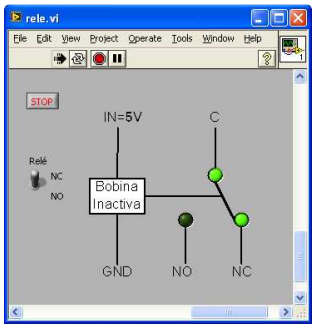
En esta práctica se probará el funcionamiento del relé enviando una salida digital de la tarjeta DAQ a la bobina **RELE IN** del EPC, y monitoreando los terminales de conmutación del relé (**NO** y **NC**) mediante líneas de entradas digitales de la tarjeta DAQ.

1. Realizar las siguientes conexiones entre el EPC y la tarjeta DAQ:
    a. Conectar la entrada de la bobina del relé del EPC marcada como **RELE IN** a una salida digital de la tarjeta DAQ. En este ejemplo se utiliza la línea digital **P1.0**.
    b. Conectar la referencia **GND** de la tarjeta DAQ a la referencia **GND** del EPC. Todas las referencias **GND** de la tarjeta DAQ están conectadas internamente (en el modelo USB-6009 y similares); igualmente, todas las referencias **GND** del EPC están conectadas internamente.
    c. Conectar el terminal común del relé del EPC marcado como **RELE C** a una referencia **GND** del mismo EPC.
    d. Conectar las salidas de conmutación del relé del EPC Normalmente Abierto **NO** y Normalmente Cerrado **NC** a dos líneas de entrada digital de la tarjeta DAQ respectivamente. En este ejemplo se utilizan las líneas digitales **P1.1** y **P1.2**.
    e. Conectar la fuente de poder del EPC. Confirmar que el voltaje de la fuente sea de 12V.



2. Abrir el programa `relé.vi`. El panel frontal presenta los siguientes objetos.
    a. Un control boleano tipo switch llamado **Relé** permite operar sobre la bobina del relé.
    b. Cuando el **Relé** está en estado BAJO, la tarjeta DAQ produce una señal de 0V, activando el relé del EPC y conmutando entre el terminal común **C** y el Normalmente Abierto **NO**. Cuando el **Relé** está en estado ALTO, la tarjeta DAQ produce una señal de 5V, desactivando el relé y conmutando entre el terminal común **C** y el Normalmente Cerrado **NC**. El indicador gráfico muestra la forma en que opera el relé del EPC.
    c. Al operar sobre el switch **Relé** del programa, se podrá escuchar el mecanismo del relé del EPC al conmutar entre los diferentes terminales.
    d. El botón **STOP** termina la ejecución del programa.





3. Correr el programa y operar sobre el control **Relé**. Observar el funcionamiento del relé.
4. Si se desea, se puede conectar una carga externa con su propia alimentación. Para ello es necesario desconectar previamente las líneas digitales de la tarjeta DAQ que se usaron para monitorear el estado de los contactos **NO** y **NC**.
5. Parar el programa presionando el botón **STOP**.
6. Abrir el diagrama de bloques para analizar el algoritmo.
7. Cerrar el programa sin hacer cambios.

Especificaciones Generales

SEÑALES DE MEDICIÓN Y CONTROL

Entradas Digitales: Bombillo 1 Ventilador 1 Relé 1 Stepper 4 **Total: 7** 0-5VDC Compatibles TTL	**Entradas Analógicas:** Motor DC 1 **Total: 1** Nivel 0-5 VDC Tasa Muestreo 40kS/s
Salidas de Tren de Pulsos Motor DC 1 Stepper 1 **Total: 2** 0-5 VDC Compatibles TTL	**Salidas Analógicas:** Temperatura 1 Micrófono 1 **Total: 2** Nivel 0-5 VDC Consumo 5mA
Relé Electromecánico Tipo SPDT Bobina 1 comandado TTL Común 1 Normalmente Abierto 1 Normalmente Cerrado 1 Voltaje de Conmutación 120VAC, 48VDC Corriente de Conmutación 1A	

ALIMENTACIÓN

12 VDC, 1200 mA para alimentación del EPC, motores y componentes electrónicos

120 VAC, 50W para alimentación del bombillo dicroico

DIMENSIONES FÍSICAS

Ancho 19cm x Alto 9,5cm x Profundidad 13cm

Especificaciones Mínimas Del Sistema DAQ

Características Mínimas del Sistema de Adquisición de Datos

(*tomadas de la hoja de especificaciones de la tarjeta DAQ USB-6009 de National Instruments)

Digital I/O
Number of channels..... 12 total
8 (P0.<0..7>)
4 (P1.<0..3>)
Direction control..... Each channel individually programmable as input or output
Output driver type
USB-6008..... Open-drain
USB-6009..... Each channel individually programmable as push-pull or open-drain.
Compatibility ..... CMOS, TTL, LVTTL
Internal pull-up resistor..... 4.7 k½ to +5 V
Power-on state ..... Input (high impedance)
Absolute maximum voltage range ..... -0.5 to +5.8 V

Analog Input
Input range, single-ended ..... ±10 V
ADC Resolution (bits)..... 14 bits (differential)
Input range, differential ..... ±20, ±10, ±5, ±4, ±2.5, ±2, ±1.25, ±1 V
Maximum working voltage ..... ±10 V
Overvoltage protection..... ±35 V
FIFO buffer size..... 512 B
Timing resolution..... 41.67 ns (24 MHz timebase)
Timing accuracy..... 100 ppm of actual sample rate
Input Impedance..... 144 k½
Trigger source..... Software or external digital trigger
System noise ..... 0.3 LSBrms (±10 V range)

Analog Output
Absolute accuracy (no load)..... 7 mV typical, 36.4 mV maximum at full scale
Number of channels..... 2
Type of DAC..... Successive approximation
DAC resolution ..... 12 bits
Maximum update rate..... 150 Hz, software-timed
Output range ..... 0 to +5 V
Output impedance ..... 50 ½
Output current drive ..... 5 mA
Power-on state ..... 0 V
Slew rate ..... 1 V/µs
Short-circuit current ..... 50 mA

Counter
Number of counters 1
Resolution..... 32 bits
Counter measurements..... Edge counting (falling edge)
Pull-up Resistor ..... 4.7 k½ to 5 V

Maximum input frequency ..... 5 MHz
Minimum high pulse width ..... 100 ns
Minimum low pulse width ..... 100 ns
Input high voltage ..... 2.0 V
Input low voltage ..... 0.8 V